



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ PŘESNÝCH DĚR PRO ULOŽENÍ LOŽISEK

MACHINING OF PRECISE HOLES FOR BEARINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Blecha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jan Blecha**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Obrábění přesných děr pro uložení ložisek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma dokládá způsoby či možnosti obrábění přesných děr pro uložení kluzných nebo valivých ložisek v sériové výrobě v typických strojírenských zařízeních (převodovky, motory, automobily, vlaky, lodě, letadla, jeřáby, apod.).

Cíle diplomové práce:

- Lícování a uložení strojních součástí.
- Konstrukční podsestavy kluzných a valivých ložisek.
- Typy převodových skříní.
- Technologické způsoby ve výrobě.
- Důsledky jednotlivých způsobů.
- Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-21-2219-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce se zabývá obráběním přesných děr pro uložení ložisek z hlediska teoretického přehledu, lícování a uložení strojních součástí. Dále pak přehledem a volbou ložisek, seznámení se s typy převodových skříní a metodami dokončování povrchů. Závěrem pak způsoby výroby děr pro uložení ložisek v převodových skříních.

Klíčová slova

Uložení, převodová skříň, ložisko, teoretický postup, výroba

ABSTRACT

This diploma thesis is about machining of exact hole specifications to fit the bearings from the the theoretical overview of the fitting. Another purpose is to describe; the overview of machines, the choices in bearings, and the types of gearboxes. Finally, it deals with the different methods of surface finishing, how to produce the holes for the bearings to fit in gearboxes. Finally, it deals with the different methods of surface finishing and how to produce the holes for the bearings to fit in the gearboxes

Key words

Fit, gearbox, bearings, theoretical process, production

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BLECHA, Jan. *Obrábění přesných děr pro uložení ložisek* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/112955>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Obrábění přesných děr pro uložení ložisek vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jan Blecha

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně, za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině a svým přátelům za podporu a pomoc.

Obsah

Abstrakt	5
Prohlášení	7
Poděkování	9
ÚVOD	13
1 LÍCOVÁNÍ A ULOŽENÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ	14
1.1 Stanovení rozměru	14
1.2 Soustava tolerancí a uložení ISO	14
1.2.1 Soustava jednotné díry	15
1.2.2 Soustava jednotného hřídele	15
1.2.3 Uložení v soustavě smíšené	16
1.3 Uložení strojních součástí	16
1.3.1 Uložení s vůlí	16
1.3.2 Uložení s přesahem	17
1.3.3 Uložení přechodné	17
1.4 Geometrické tolerance	18
1.4.1 Geometrické tolerance vztahující se k jednomu prvku	18
1.4.2 Geometrické tolerance vztahující se ke dvěma a více prvkům	19
2 KONSTRUKČNÍ PODSESTAVY KLUZNÝCH A VALIVÝCH LOŽISEK	25
2.1 Kluzná ložiska	25
2.1.1 Dělení kluzných ložisek	25
2.1.2 Materiál kluzných ložisek	27
2.1.3 Mazání kluzných ložisek	28
2.1.4 Zásady montáže kluzného ložiska	29
2.2 Valivá ložiska	30
2.2.1 Kuličková ložiska	30
2.2.2 Válečková ložiska	32
2.2.3 Jehlová ložiska	33
2.2.4 Soudečková ložiska	34
2.2.5 Kuželíková ložiska	35
2.2.6 Materiál valivých ložisek	36
2.2.7 Mazání valivých ložisek	37
2.2.8 Zásady montáže valivých ložisek	38
2.3 Selektivní montáž	39
2.4 Porovnání užívaných ložisek u různých typů převodovek	40
2.5 Další typy ložisek	41
3 TYPY PŘEVODOVÝCH SKŘÍNÍ	42
3.1 Dělení převodových skříní	42
3.1.1 Čelní soukolí	42
3.1.2 Kuželové soukolí	43
3.1.3 Šroubová soukolí	43
3.1.4 Šnekové soukolí	44
3.1.5 Planetový převod	44
3.2 Ukázka převodových skříní	45
4 TECHNOLOGICKÉ ZPŮSOBY VE VÝROBĚ	47
4.1 Dokončovací metody pro obrábění dř	47
4.1.1 Vystružování	47
4.1.2 Broušení	48
4.1.3 Lapování	49

4.1.4	Superfinišování	50
4.1.5	Honování.....	51
4.1.6	Leštění.....	52
4.1.7	Válečkování	53
4.2	Volba stroje pro obrábění přesných děr pro ložiska převodových skříní	54
4.3	Porovnání metod výroby	54
4.3.1	Volba polotovaru a přípravné operace	54
4.3.2	Konstrukční řešení axiálního usazení ložisek v převodové skříni	55
4.3.3	Obrábění děr pro ložiska z jedné strany	56
4.3.4	Obrábění děr pro ložiska z dvou stran za použití otočného stolu.....	56
4.3.5	Obrábění děr pro ložiska oběma způsoby.....	56
4.4	Výrobní operace pro zhotovení děr pro uložení ložisek	56
4.4.1	Vyvtávání děr	56
4.4.2	Hrubování	57
4.4.3	Vystružování.....	57
4.5	Měření součástí.....	57
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	59
5.1	Porovnání nákladů na pořízení stroje.....	59
5.2	Nástroje a nákladovost	59
6	DISKUZE	60
ZÁVĚR.....		61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....		63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		71
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		73
SEZNAM TABULEK.....		77
SEZNAM PŘÍLOH		79

ÚVOD

Správný návrh technologie výroby děr pro uložení ložisek do převodových skříní má výrazný vliv na jejich životnost a tichost chodu celé převodové skříně. Výrobní nesouosost dvou protilehlých ložisek, ve který je uložen hřídel nesoucí ozubené kolo, může způsobovat jejich nerovnoměrné zatěžování. Proto je nutné už od konstrukčního návrhu přemýšlet nad vyrobiteľností předepsané tolerance a strojovou vybaveností firmy.

Pro výrobu děr pro uložení ložisek v převodových skříní lze běžně využít horizontálních vyvrtávacích strojů vybavených otočným stolem. V současné době velké firmy vlastní CNC stroje s pěti řízenými osami, které jsou univerzálnější, ale velmi drahé.

Tato diplomová práce se zabývá nejprve teoretickým popisem lícování součástí, možností předepisování rozměrových, ale i geometrických tolerancí na výrobním výkrese. Další část obsahuje základní rozdělení kluzných a valivých ložisek, materiály, z kterých jsou vyráběna, jak lze daná ložiska mazat či montovat. Obsah třetí kapitoly je zaměřen na převodové skříně. V této kapitole lze nalézt druhy soukolí ozubených kol a jejich využití v technické praxi. Následující kapitola obsahuje přehled používaných metod dokončování ploch, porovnání metod výroby děr, volbu obráběcího stroje, či způsob měření. V závěrečné kapitole je krátké technicko – ekonomické zhodnocení a diskuze.

1 LÍCOVÁNÍ A ULOŽENÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ

Lícování vyjadřuje předpis pro přesnost, tvar, polohu, ale i kvalitu povrchu součástí na výrobním výkrese. Tolerují se převážně funkční rozměry součástí, které musí splňovat požadavky na funkčnost. Ostatní rozměry se řídí dle všeobecných tolerancí pro délkové a úhlové rozměry a také pro geometrickou přesnost.

Uložení strojních součástí slouží pro vzájemné působení součástí jedna na druhou. Správné uložení má vliv na tichost chodu a delší životnost součástí.

Lícování rozměrů je v dnešní době velmi důležité v sériové i kusové výrobě pro určení přesného usazení součástí, zvýšení jejich životnosti, funkčnosti a možnosti jejich snadné výměny. [1, 2]

1.1 Stanovení rozměru

Pro výrobu součástí je nutný výrobní výkres. Na výrobním výkrese lze nalézt okótovanou vyráběnou součást, tedy číselný předpis délkového, popřípadě úhlového rozměru v příslušných jednotkách (nejčastěji v milimetrech [mm], nebo palcích [in]). Dané hodnoty rozměru nelze přesně dosáhnout, z důvodu nepřesnosti výroby (např. otupení řezného nástroje, nepřesné upnutí nástroje/obrobku, změna teploty obráběné součásti při obrábění a po obrábění, apod), a tak bylo nutné zavést rozsah přípustných hodnot daného rozměru. Tento rozsah se skládá z jmenovitého rozměru, horního mezního rozměru a dolního mezního rozměru, což jsou dva krajní rozměry, mezi nimiž daný rozměr musí ležet.

- jmenovitý rozměr – číselná hodnota (nejčastěji celé číslo), ke kterému jsou vztaženy mezní úchytky,
- horní mezní rozměr – maximální přípustná hodnota rozměru,
- dolní mezní rozměr – minimální přípustná hodnota rozměru.

Pod pojmem skutečný rozměr lze rozumět rozměr změřený po výrobě, který by měl ležet mezi horním a dolním mezním rozměrem. Dále se lze setkat s pojmy horní mezní úchylka ES (popř. es) a dolní mezní úchylka EI (popř. ei), které vyjadřují algebraický rozdíl mezi horním/dolním mezním rozměrem a jmenovitým rozměrem. Algebraický rozdíl mezi horním a dolním mezním rozměrem je nazýván rozměrová tolerance.

Na výkres se zanáší pouze rozměrové nebo geometrické tolerance, které mají přímý vliv na funkci dané plochy, pokud tento toleranční předpis na výkrese není, je nutné se řídit všeobecnou tolerancí pro délkové a úhlové rozměry a také pro geometrickou přesnost prvků. To zaručuje, že i rozměr, u kterého není toleranční předpis podléhá nějaké toleranci. Při kontrole měření je využíváno zásady nezávislosti, kdy se kontroluje každá z předepsaných tolerancí bez ohledu na ostatní rozměry, tolerance nebo charakteristiky, tedy pokud to není na výkrese jinak předepsáno. [1, 3, 4]

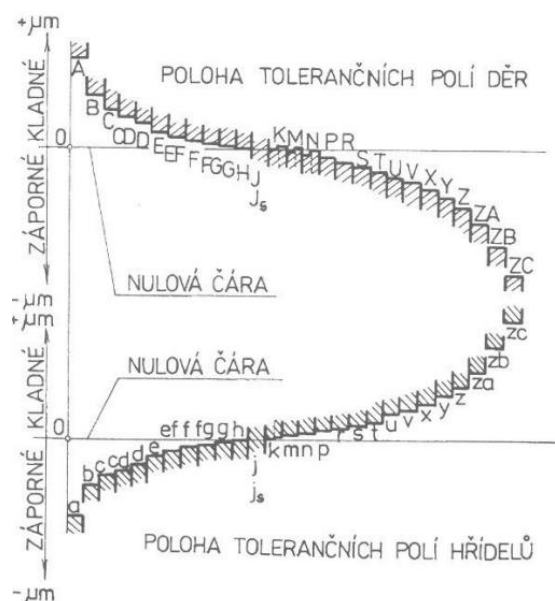
1.2 Soustava tolerancí a uložení ISO

Tato soustava byla určena pro hladké prvky válcových součástí a jimi tvořená uložení. Soustava tolerancí ISO pro rozměry do 500 mm má 20 tolerančních stupňů, jež jsou značeny IT01, IT0, IT1, IT2 až IT18, dále pro rozměry nad 500 mm a do 3150 mm jsou využívány toleranční stupně IT1 až IT18. Každá z těchto tolerancí se nazývá základní tolerance IT. Každý toleranční stupeň udává velikost tolerančního pole

v závislosti na velikosti průměru součásti. Tato velikost byla určena experimentálními pokusy a měřením. Oblasti užití:

- IT 01 až IT4 – výroba měřidel a kalibrů,
- IT5 až IT11 – přesné uložení a uložení ve všeobecném strojírenství,
- IT11 až IT18 – pro netolerované délkové rozměry a pro výrobu polotovarů.

Po určení velikosti tolerančního pole je nutné dále určit jeho polohu. K tomu slouží základní úchylka, která vyjadřuje polohu tolerančního pole vzhledem k nulové čáře. Tato základní úchylka je pro díry značena velkými písmeny abecedy a pro hřídel malými písmeny abecedy. Poloha tolerančního pole vzhledem k nulové čáře vlivem základní úchylky je na obrázku 1. [1, 2, 3]



Obr. 1 Poloha tolerančních polí pro díry a hřídele [2]

Na výrobní výkresu lze potom nalézt například $\varnothing 20j6$, což vyjadřuje, že jde o hřídel o průměru 20 mm, o tolerančním stupni IT6, a základní úchylce j.

Dále bylo nutné z důvodu snižování nákladů ve výrobě zavést dvě soustavy uložení, a to soustavu jednotné díry a soustavu jednotného hřídele. V některých případech však nevyhovuje ani jedna z nich, a tak se volí uložení smíšené. [1, 2]

1.2.1 Soustava jednotné díry

V této soustavě je pevně daná tolerance díry tak, že její dolní mezní rozměr je roven jmenovitému rozměru a nemění se. Vůlí a přesahů se dosahuje změnou tolerančních tříd u hřídelů. Soustava jednotné díry byla zavedena z důvodu snížení výrobních nákladů (drahé výhrubníky výstružníky, velké množství různě velkých měřících válcových kalibrů atd.). Pro soustavu jednotné díry je volena základní úchylka H. [1, 3]

1.2.2 Soustava jednotného hřídele

U soustavy jednotného hřídele je pevně daná tolerance hřídele, že jeho horní mezní rozměr je roven jmenovitému rozměru. Vůlí a přesahů se dosahováno změnou tolerančních tříd děr. Tato soustava se využívá, když je možné nakupovat materiál hřídelů, který má již požadovaný rozměr, nebo pokud se jedná o dlouhý hřídel na němž jsou uloženy náboje ozubených kol, řemenic apod. [1, 3]

1.2.3 Uložení v soustavě smíšené

Lze nalézt i případy, kdy nevyhovuje asi soustava jednotného hřídele a ani soustava jednotné díry. Pro správnou vzájemnou funkci součástí je nutné, aby ani jedna součást v tolerančním poli neměla základní úchylku rovnu nule. Jedním takovým případem je uložení těsnícího pera v drážce hřídele nebo náboje. Předpis tolerance šířky drážky se volí v hřídeli H9, N9, P9 a v náboji D10, Js9 nebo P9. Pro pero se používají nejčastěji e7 nebo h9. Takže výsledné uložení pera může být například P9/e7. [1, 3]

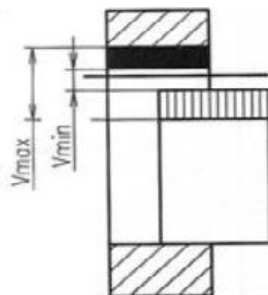
1.3 Uložení strojních součástí

Vzájemný vztah dvou součástí, které mají společný jmenovitý rozměr, ale opačný charakter (díra a hřídel) je nazýván uložení. Při spojení hřídele a díry lze vyžadovat různé vzájemné působení obou prvků. Někdy je třeba pevného spojení díry s hřídelí, někdy naopak volné spojení těchto dvou součástí, a proto jsou zavedeny základní 3 typy uložení, a to uložení s vůlí, uložení s přesahem a uložení přechodné. [1, 3]

1.3.1 Uložení s vůlí

Toto uložení (obr. 2) předepisuje v uložení díry a hřídele vždy vůli. Při tomto uložení je dolní mezní rozměr díry (minimální průměr díry dle tolerance) větší, nebo někdy stejný jako horní mezní rozměr hřídele (maximální průměr hřídele dle tolerance). Dle velikosti vůle je možné lze rozdělit uložení s vůlí na:

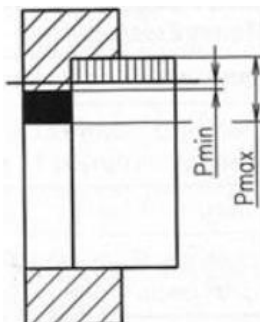
- uložení se značnou vůlí – zde se součásti v sobě mohou lehce otáčet. Toto uložení je používáno například v prašném prostředí pro snadnou montáž a demontáž součástí. U obráběcích strojů jsou to například kameny posouvače v drážce bubnu, nebo součásti vyžadující velkou vůli. Používané uložení např. H11/d11,
- uložení s malou vůlí – zde je možné součásti do sebe lehce zasunout a vzájemně s nimi pootáčet. Jedná se o hladké čepy, ale také součásti, které se budou svařovat, nebo nýtovat. Používané uložení např. H11/h11,
- točné uložení – toto uložení se používá nejčastěji pro uložení hřídelů do pouzder, nebo kluzných ložisek v převodovkách, čerpadlech a motorech. Používané uložení např. H9/d9, H8/e8, H7/f7, H7/g6,
- smykové uložení – je vhodné pro součásti, které se po sobě mají lehce posouvat. Díky malé vůli je toto uložení využíváno u přesných obráběcích strojů, nástrojů, přípravků apod. Toto uložení je voleno i pro přesná vedení a středění součástí. Používaná uložení např. H8/h7, H8/h8, H7/h6. [1]



Obr. 2 Uložení s vůlí [5]

1.3.2 Uložení s přesahem

V tomto uložení (obr. 3) dochází k překrytí díry a hřídele. Horní mezní rozměr díry (její maximální dovolený průměr) je menší, nebo někdy stejný, jako dolní mezní rozměr hřídele (nejmenší průměr). To zajišťuje pevné spojení, k jehož dosažení je většinou potřeba velká energie, a to formou tepelné energie (využití tepelné roztažnosti, kdy se hřídel podchladí a díra zahřeje), nebo tlaková (např. nalisování). Využití nalezne hlavně u ocelových a litinových součástí. Dále například pro uložení bronzových ložiskových pouzder. Používaná uložení např. H7/p6, H7/r6, H7/s6. [1]

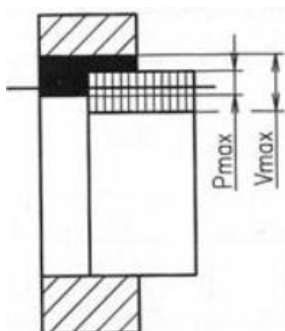


Obr. 3 Uložení s přesahem [5]

1.3.3 Uložení přechodné

Při tomto uložení (obr.4) se toleranční pole díry a hřídele překrývají. Zde může vznikat jak vůle, tak i přesah, což závisí na skutečném rozměru díry a hřídele. Dle použití lze dělit přechodné uložení na:

- posuvné uložení – zde dochází k velmi malé vůli nebo přesahu. Vzniká velmi přesné zajištění polohy, ale i snadné montáži a demontáži (např. věnec ozubeného kola s přírubou náboje). Používané uložení H7/js6,
- shodné uložení – zde dochází často k velmi malému přesahu. Používá se pro usazení součástí, co se často nerozebírají. Pro montáž a demontáž je potřebný mírný tlak (např. uložení ozubených kol a řemenic na hřídeli, kde je nutné použití pera pro zamezení vzájemného otáčení součástí). Používané uložení H7/k6,
- pevné uložení – uložení obvykle s malým přesahem. Pro montáž a demontáž součástí je nutný již větší tlak. Při tomto uložení je stále nutné použít pero pro zamezení vzájemného otáčení součástí. Používané uložení např. H7/n6. [1,3]



Obr. 4 Uložení s přechodné [5]

1.4 Geometrické tolerance

Pro zpřesnění a lepší funkci součástí bylo nutné zavést geometrické tolerance. Jde o toleranci tvaru, umístění a házení součástí. Předepisování geometrických tolerancí má přímý vliv na chod strojů a zařízení. Například rotující kotouč, který hází způsobuje vibrace celého stroje, nedokonalá rovinnost, přímost nebo kolmost vedení obráběcích strojů má zásadní vliv na jejich přesnost. Na hlučnost valivých ložisek má, mimo jiné, výrazný vliv kruhovitost jejich valíků se elementů. Předpis geometrických tolerancí je možné vztahovat k jednomu, nebo dvěma a více prvkům. Daná tolerovaná plocha musí ležet:

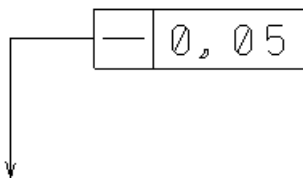
- v rovině – mezi dvěma rovnoběžnými přímkami (přímost), nebo v mezikruží (kruhovitost, kruhové obvodové házení),
- v prostoru – mezi dvěma rovnoběžnými rovinami (rovinnost, rovnoběžnost rovin, kolmost rovin), nebo ohraničené válcem (rovnoběžnost dvou přímek, poloha osy). [1, 3, 4]

1.4.1 Geometrické tolerance vztahující se k jednomu prvku

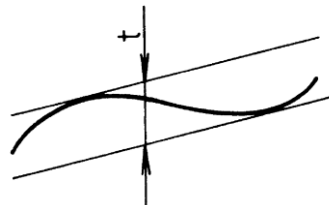
Na výkrese se tolerance vztahující k jednomu prvku značí rámečkem a odkazovou čarou se šipkou. Uvnitř rámečku je uvedena značka tolerance a její číselná hodnota. Mezi nejpoužívanější tolerance vztahující se k jednomu prvku patří:

Přímost a rovinnost

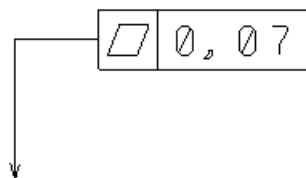
Správnost výroby tolerovaného prvku je tehdy, pokud vzdálenost skutečného prvku od obalové přímky (roviny), která reprezentuje ideální geometrický tvar je menší nebo rovna hodnotě předepsané tolerance. Značení přímosti a rovinnosti na výkrese a tvar jejich tolerančních polí viz. obr. 5-8. [1, 3]



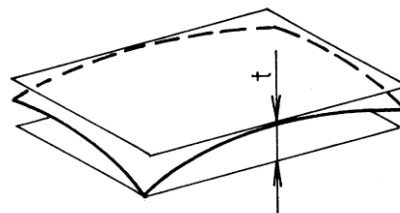
Obr. 5 Značení přímosti na výkrese



Obr. 6 Vyobrazení tolerančního pole přímosti [3]



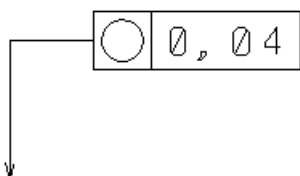
Obr. 7 Značení rovinnosti na výkrese



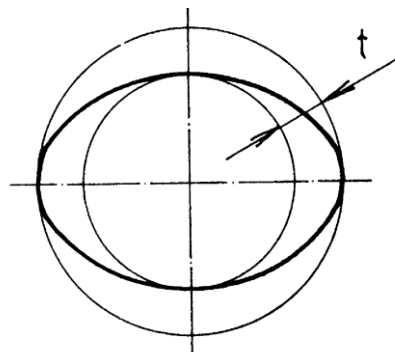
Obr. 8 Vyobrazení tolerančního pole rovinnosti [3]

Kruhovitost

Tolerance pro kruhovitost udává, že povrch vyráběné plochy kruhového průřezu musí ležet v mezikruží ohraničující tuto plochu (obr.10). Hodnota šířky mezikruží odpovídá zadané hodnotě tolerance t předpisu na výkrese (obr. 9). [1]



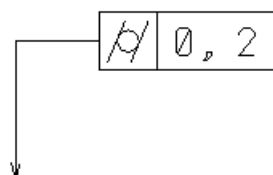
Obr. 9 Značení kruhovitosti na výkrese



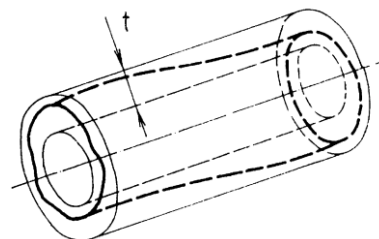
Obr. 10 Vyobrazení tolerančního pole kruhovitosti [3]

Válcovitost

Pro dodržení válcovitosti musí skutečný vyrobený povrch ležet v oblasti mezi dvěma sousými válci (obr. 12). Rozdíl v poloměru vnějšího a vnitřního válce je roven toleranci t zobrazené na výkrese (obr. 11). [1, 3]



Obr. 11 Značení válcovitosti na výkrese



Obr. 12 Vyobrazení tolerančního pole válcovitosti [3]

1.4.2 Geometrické tolerance vztahující se ke dvěma a více prvkům

Pro určení vzájemného působení dvou prvků na sebe (rovin, válcových ploch atd.) je na rozdíl od geometrických tolerancí vztahující se k jednomu prvku (kap. 1.4.1) nutná základna. [1, 3]

Základna

Vybraná přesná oblast (plocha, osa, rovina atd.), ke které má mít vyhodnocovaná plocha danou toleranci. Základny se většinou volí buď obrobené plochy, na které je následně obrobek upnut, nebo osy již zhotovených děr, popřípadě funkční plochy součástí. Někdy pro určení tvaru, polohy nebo házení součásti nestačí pouze jedna základna, a proto je nutné základen zvolit více. Základna je značena na výkrese tabulkou obsahující velké tiskací písmeno a odkazovou čárou zakončenou vyplněným trojúhelníkem, viz obr.13.

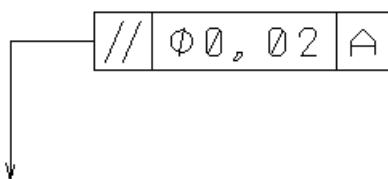


Obr. 13 Označení základny na výkrese

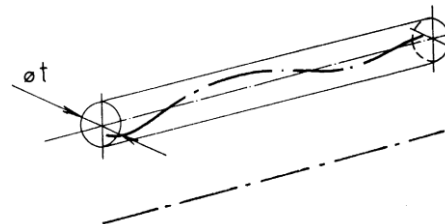
Geometrické tolerance využívající základny lze dělit na tolerance orientace, mezi které spadá rovnoběžnost, kolmost nebo sklon, tolerance umístění, kam lze zařadit polohy, soustřednosti, souměrnosti nebo souososti, a také tolerance házení, která předepisuje tvar, ale i umístění bodů tolerované plochy. Tolerance házení lze také nazvat jako souhrnná tolerance tvaru a polohy. Tolerance vztahující se ke dvěma a více prvkům je značena na výkrese tabulkou, ke které je značka tolerance, její číselná hodnota a základna ke které se tolerance vztahuje. Značení a popis jednotlivých geometrických tolerancí vztahující se ke dvěma a více prvkům:

Rovnoběžnost

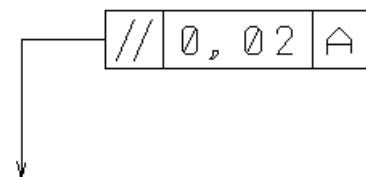
Tolerance rovnoběžnosti je splněna, pokud vzniklý prvek leží v tolerančním poli dle předpisu. Pokud je před číselnou hodnotou tolerance značka průměru, jde o rovnoběžnost dvou os. Toleranční pole (obr. 15) je válec o průměru, který je roven číselné hodnotě tolerance (obr. 14), jehož osa je rovnoběžná s osou prvku, ke kterému je vztahována základna. V případě, že před číselnou hodnotou tolerance není značka průměru, tak toleranční pole je vymezeno dvěma rovinami (obr. 17), jejichž vzdálenost je rovna hodnotě tolerance t (obr. 16), které jsou rovnoběžné s rovinou základní. [1, 3]



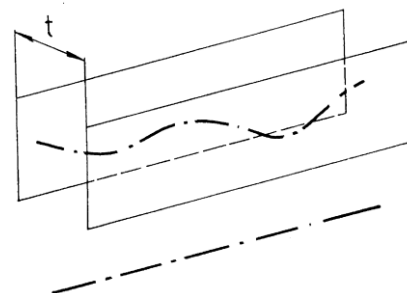
Obr. 14 Značení rovnoběžnosti os na výkrese



Obr. 15 Vyobrazení tolerančního pole rovnoběžnosti os [3]



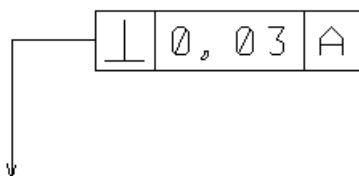
Obr. 16 Značení rovnoběžnosti na výkrese



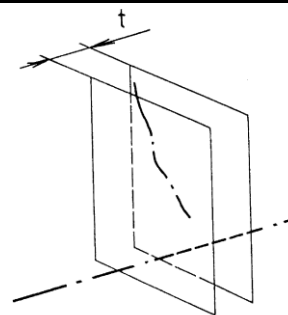
Obr. 17 Vyobrazení tolerančního pole rovnoběžnosti [3]

Kolmost

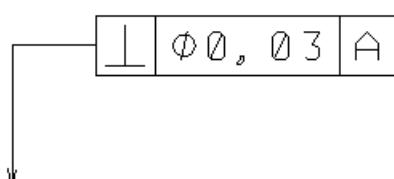
Kolmost je možné předepisovat k různým prvkům. Ať už přímka k přímce (nejčastěji osa k ose), přímka (osa) k rovině nebo kolmost dvou rovin. Pokud se v předepisované tabulce kolmosti nevyskytuje značka průměru, je toleranční pole kolmosti ohraničené dvěma rovnoběžnými rovinami kolmých na základnu (obr. 19). Vzdálenost těchto rovin odpovídá hodnotě tolerance t (obr. 18). Pokud se v tabulce vyskytuje značka průměru (nejčastěji přímka (osa) k rovině), tak se toleranční pole vyznačuje válcovou plochou o průměru t , kolmou na základní rovinu (obr. 20 a obr. 21). [1, 3, 4]



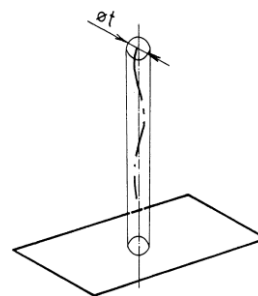
Obr. 18 Značení kolmosti na výkrese bez značky průměru



Obr. 19 Vyobrazení tolerančního pole kolmosti bez značky průměru [3]



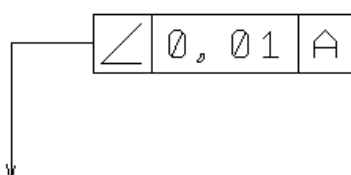
Obr. 20 Značení kolmosti na výkrese se značkou průměru



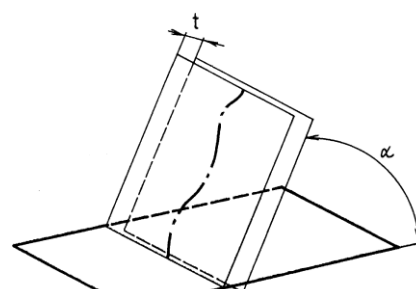
Obr. 21 Vyobrazení tolerančního pole kolmosti se značkou průměru [3]

Sklon

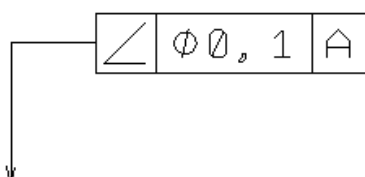
Stejně jako u kolmosti, lze sklon předepisovat pro kombinaci prvků jako je přímka k přímce (osa k ose), přímka (osa) k rovině, nebo vzájemný sklon dvou rovin. V případě, že v toleranční tabulce není značka průměru, tak je toleranční pole ohraničené dvěma rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance t a svírající předepsaný úhel α se základní rovinou (obr. 22 a obr. 23). Pokud toleranční tabulka obsahuje značku průměru, tak toleranční pole má tvar válce o hodnotě průměru o velikosti tolerance t a úhlu α jeho osy se základní rovinou (obr. 24 a obr. 25). [1, 3]



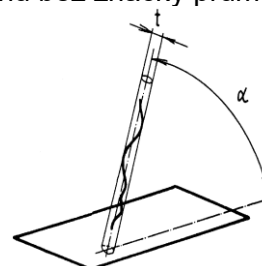
Obr. 22 Značení sklonu na výkrese bez značky průměru



Obr. 23 Vyobrazení tolerančního pole sklonu bez značky průměru [3]



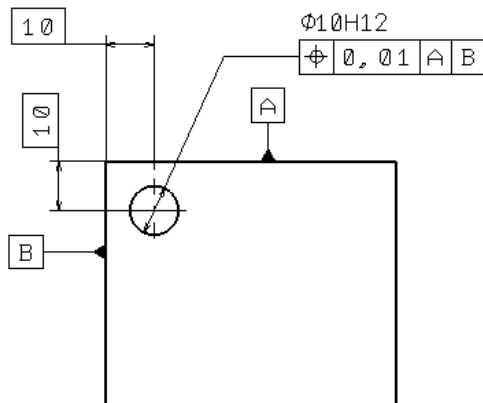
Obr. 24 Značení sklonu na výkrese se značkou průměru



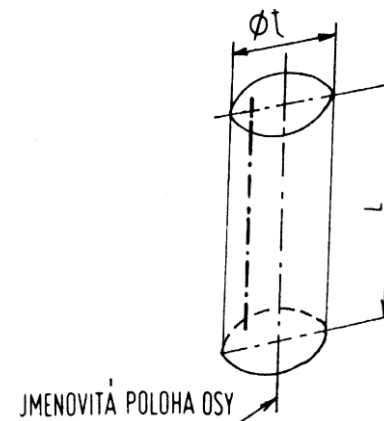
Obr. 25 Vyobrazení tolerančního pole sklonu se značkou průměru [3]

Poloha osy

Tato geometrická tolerance předepisuje polohu skutečné osy vůči teoreticky přesné poloze osy. Skutečná osa musí ležet uvnitř válcové plochy o průměru, který má hodnotu tolerance t (obr. 27). Tolerance polohy osy se nejčastěji používá pro tolerování polohy díry, popřípadě více děr, vůči základnám (obr. 26). Kóty vyjadřující číselnou vzdálenost osy díry od základny, ke které se vztahuje tolerance, jsou umístěny v rámečku (obdelníku). [3]



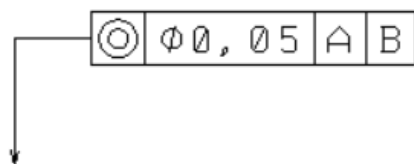
Obr. 26 Příklad použití polohy osy na výkrese



Obr. 27 Vyobrazení tolerančního pole polohy osy [3]

Souosost

Geometrická tolerance souososti se nejčastěji používá pro díry, do kterých jsou uloženy hřídele (například do skříně převodovek), nebo pro hřídele (čepy) užívané pro uložení ložisek. Toleranční pole je tvořeno válcovou plochou, kdy osa válce je totožná s osou prvku, na kterém je základna a osa prvku ke kterému je předepsaná tolerance musí ležet uvnitř této válcové plochy (obr. 29). Průměr válcové plochy je roven velikosti tolerance t uvedené v tabulce (obr. 28). [1, 3]



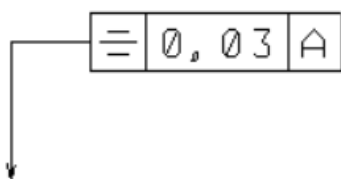
Obr. 28 Značení souososti na výkrese se značkou průměru



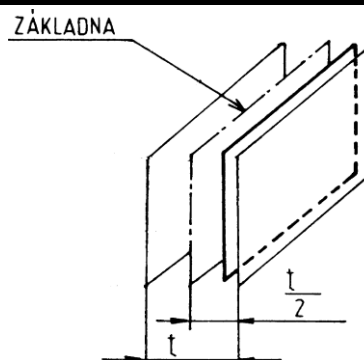
Obr. 29 Vyobrazení tolerančního pole sklonu se značkou průměru [3]

Souměrnost

Souměrnost prvku, ke kterému je geometrická tolerance souměrnosti předepsaná a základního prvku je splněna tehdy, když rovina (osa) souměrnosti vzniklého prvku leží mezi dvěma rovinami, které jsou od sebe vzdálené o hodnotu tolerance t (obr. 30 a obr. 31). Tyto dvě roviny jsou souměrné podle roviny (osy) souměrnosti základního prvku. [1, 3, 4]



Obr. 30 Značení souměrnosti na výkrese



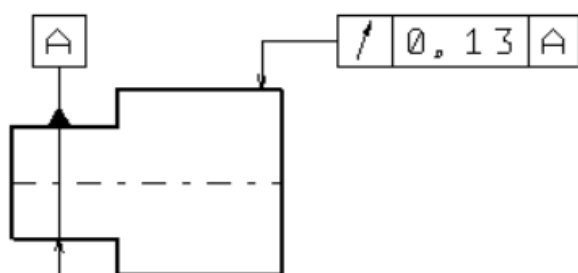
Obr. 31 Vyobrazení tolerančního pole souměrnosti [3]

Házení

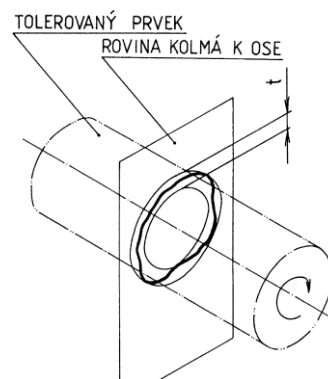
Geometrická tolerance je využívána u rotačních strojních součástí, jako jsou rotující hřídele, ozubená kola atd. Předpisů tolerance házení je několik a to:

- obvodové kruhové házení,
- čelní kruhové házení,
- celkové obvodové házení,
- celkové čelní házení.

Obvodové kruhové házení – lze chápat jako společný projev kruhovitosti a soustřednosti vzhledem k základnímu prvku (obr. 33). Výsledná vzniklá plocha musí v každé rovině kolmé na osu rotace ležet mezi dvěma soustřednými kružnicemi, jejich středy leží na ose základního prvku. Vzdálenost soustředných kružnic (rozdíl jejich poloměrů) je rovna číselné hodnotě tolerance t (obr. 32). [1, 3, 4]

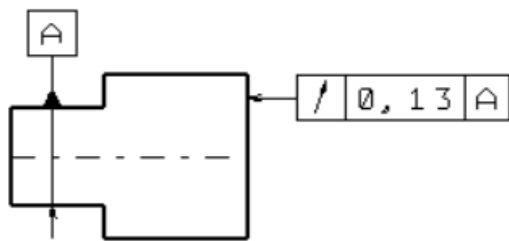


Obr. 32 Příklad značení obvodového kruhového házení na výkrese

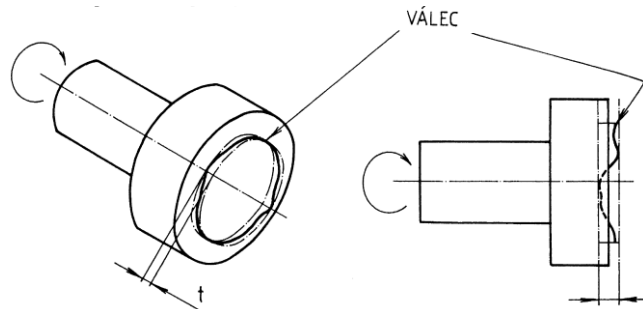


Obr. 33 Vyobrazení tolerančního pole obvodového kruhového házení [3]

Čelní kruhové házení – zde je toleranční pole ohraničeno dvěma kružnicemi, jejich střed leží na ose základního prvku, o stejném průměru a axiální vzdálenosti rovné hodnotě tolerance t (obr. 34 a obr. 35). Vzniklá plocha čela musí ležet mezi těmito kružnicemi v každém bodě poloměru vzniklého čela. [1, 3]

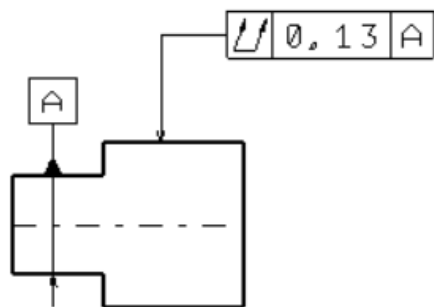


Obr. 34 Příklad značení čelního kruhového házení na výkrese

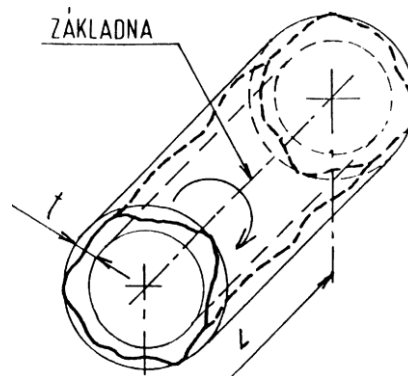


Obr. 35 Vyobrazení tolerančního pole čelního kruhového házení [3]

Celkové obvodové házení – si lze představit jako kombinaci válcovitosti a souososti dohromady. Toleranční pole je ohraničeno dvěma soustřednými válci, kde jejich vzdálenost (rozdíl poloměrů) je roven hodnotě tolerance t (obr. 36 a obr. 37). Osa válce je osou základního prvku. [1, 3]

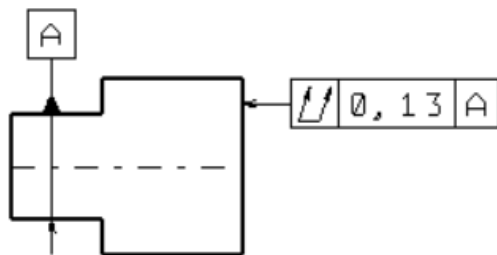


Obr. 36 Příklad značení celkového obvodového házení na výkrese

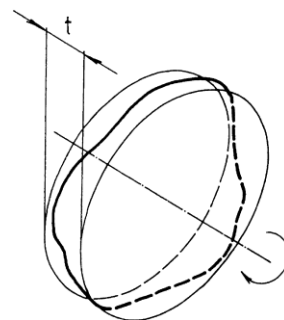


Obr. 37 Vyobrazení tolerančního pole celkového obvodového házení [3]

Celkové čelní házení – Toleranční pole celkového čelního házení je ohraničené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe od hodnotu tolerance t a kolmé k ose základního prvku (obr. 38 a obr. 39). Tato tolerance v sobě slučuje toleranci kolmosti a rovinnosti čelní plochy rotační součásti. [1, 3]



Obr. 38 Příklad značení celkového čelního házení na výkrese



Obr. 39 Vyobrazení tolerančního pole celkového čelního házení [3]

2 KONSTRUKČNÍ PODSESTAVY KLUZNÝCH A VALIVÝCH LOŽISEK

Tření je téměř vždy nepříznivý jev (pokud není přímo vyžadováno konstrukčně), na jehož překonání je nutné velké množství energie. Tato energie je tedy ztrátová a snižuje účinnost daného mechanismu. Nejen že odebírá energii od pohonu, ale vytváří teplo, které má vliv na chod mechanismu, teplotu maziva, opotřebení smykových ploch a spolehlivost daného mechanismu. Proto bylo nutné se snažit najít způsob, jak toto tření snížit a zvýšit efektivitu mechanismů.

Ve strojírenství se nejčastěji vyskytuje pohyb rotační. Zde je snaha co nejvíce snížit součinitel tření mezi plochami, nebo převést smykové tření na valivé. K tomu slouží ložiska, které nesou název dle způsobu snížení tření, a to kluzná a valivá.

Na životnost ložisek má významný vliv mechanické zatížení ložiska, ale i schopnost odvádět teplo z ložiska (odváděno stykem ploch a mazacím olejem), jakost a čistota oleje, způsob přívodu a tlak oleje, jakost povrchu, přesnost opracování čepu a přesnost povrchu ložiska samotného. [1, 2, 6, 7]

2.1 Kluzná ložiska

Kluzná ložiska jsou strojní součásti, která umožňují relativní pohyb mezi rotující nebo kývající se součástí (např. čep a hřídel) a součástí nerotující (např. rám stroje nebo převodová skříň). Kluzné ložisko obepíná rotující součást, která je v ní uložena s vůlí, přičemž udržuje hřídel v určité poloze. Kontakt mezi ložiskem a rotující součástí je buď přímý, nebo prostřednictvím pouzdra či pánve.

Ložiskové pouzdro si lze představit jako vložku kluzného ložiska. Má tvar dutého válce, který je vyráběn z jednoho kusu, nebo z dvou a více kusů (pánví). Pouzdra mají ve většině případů výstelku, což je vrstva kluzného materiálu metalurgicky spojená s ocelovým opěrným pouzdem. To umožňuje snížení smykového tření a zvýšení účinnosti mechanismu.

Základní rozdělení kluzných ložisek dle různých faktorů lze vidět v kapitole 2.1.1. Kluzná ložiska se ve velké míře používají k uložení klikového hřídele a ojnice z důvodu jednoduchosti a tichosti chodu. [1, 8, 9]

2.1.1 Dělení kluzných ložisek

Kluzná ložiska lze dělit dle různých parametrů, ať už jsou to požadavky na funkčnost, směr přenášené síly nebo technologie výroby. Základní rozdělení ložisek lze vidět v následující tabulce (tab.1).

Tab. 1 Základní rozdělení kluzných ložisek [8]

Funkční	Směru přenášené síly	Technologie
Hydrodynamická	Radiální	Odlévaná
Hydrostatická	Axiální	Tvářená
S omezeným mazáním	Radiálně-axiální	Spékaná
Samomazné pórovité		
Samomazné s tuhými mazivy		
S kombinací mazacích režimů		

Hydrodynamická ložiska

Jsou velmi často používaná ložiska ve strojírenství. V pouzdře ložiska je vsunut rotační čep s určitou vůlí. Prostor mezi čepem a pouzdrem tvoří klínovou drážku, do které je přiváděno dostatečné množství oleje pomocí tlakového čerpadla. Při otáčení čepu se olej dostává pod čep a tvoří mezikružní mezí čepem a pouzdrem ložiska. Tím dochází k tomu, že tření probíhá mezi olejovou vrstvou a čepem, a je tedy nižší. [8, 9]

Hydrostatická ložiska

Do jedné, nebo několika drážek kluzného ložiska je přiváděn olej pod tlakem, ten vyplní prostor mezi rotačními plochami a sníží tření. Mezi výhody lze zařadit schopnost ložiska pracovat správně při rozběhu i doběhu zařízení, mezi nevýhody naopak větší prostor zastavěné plochy, závisí na spolehlivosti tlakového zdroje. [8, 9]

S omezeným mazáním

U těchto ložisek je využívání dobrých vlastností kluzných materiálů a nízký součinitel tření. Třecí plochy jsou opatřeny třecím olejem nebo plastickými mazivy (vazelínami), kde je dle provozních podmínek nutné občasné domazávání ložisek. [8, 9]

Samomazné pórovité

Samomazná pórovitá ložiska mají mazací olej zakomponován přímo v kostře kluzného ložiska a tento olej se uvolňuje za chodu stroje. Vhodné jsou převážně pro malá zatížení a malé rychlosti použití. [8, 9]

Samomazná ložiska s tuhými mazivy

Využívá se v zařízeních, kde nelze použít olej ani plastické mazivo. Ve struktuře ložiskového materiálu je zakomponován tuhý mazací materiál (obr. 40), který se při provozu ložiska uvolňuje a maže dané ložisko. [8]



Obr. 40 Samomazné kluzné ložisko [10]

S kombinací mazacích režimů

Nebo také ložiska hybridní, jsou ložiska využívající více druhů mazání. Například u těžkých zařízení se pro rozběh a doběh zařízení používá hydrostatické mazání, avšak pro chod je využívání hydrodynamické. [8, 9]

2.1.2 Materiál kluzných ložisek

Při správné konstrukci ložiska a dostatečném přívodu oleje nedochází ke kontaktu ploch, protože jsou odděleny olejovým filtrem. Toto však neplatí při rozběhu a doběhu ložiska. Mohou nastat však i problémy s čerpadlem a může dojít k nedostatečnému mazání, a proto musí mít ložiskový kov jisté vlastnosti:

- vysoká afinita k oleji (molekuly oleje jsou chemickými silami připoutány k povrchu ložiska),
- materiály třecích ploch by neměli být navzájem rozpustné a svařitelné (při vzniku velkého tepla zabraňuje zadření),
- materiály třecích ploch mají mít rozdílnou tvrdost. (nečistoty přítomny v oleji jsou zatlačovány do měkčího materiálu a nepoškodí ten tvrdší),
- ložiskové materiály mají mít dobrou tepelnou vodivost (pro rychlé vyrovnání teplot).

Mezi základní prvky ložiskových slitin se řadí olovo, cín, měď, hliník a antimon. V kluzných vlastnostech se tyto slitiny tolik neliší, avšak rozdíl je hlavně ve změně tvrdosti a pevnosti se změnou teploty.

Hlavní skupinu ložiskových materiálů tvoří kompozice. Kompozice jsou voleny dle předpokládaného zatížení ložisek. Cínové kompozice lze řadit mezi nejhodnotnější ložiskové kompozice a jsou voleny tam, kde je předpoklad velkých rázových zatížení, avšak jejich tvrdost klesá s teplotou (tvrdost se dá zvýšit obsahem antimonu a mědi, má to však vliv na zvýšenou křehkost materiálu). Pro méně namáhaná ložiska lze volit například olovnaté kompozice.

Další významnou skupinou ložiskových kovů jsou bronzы. Základem těchto materiálů je měď (60-95 %). Bronzy vykazují vyšší tvrdost než kompozice a mají nejlepší tepelnou vodivost z běžně užívaných kovů. Bronzy mají špatnou pohltivost nečistot pro svou vysokou tvrdost, a tak je nutné čepy kalit, cementovat nebo nitridovat.

Cínové bronzы se vyznačují vysokou tvrdostí, pevností a tepelnou roztažností, avšak horšími kluznými a záběhovými vlastnostmi. Je nutný velký přísun mazacího oleje, aby nedošlo k zadření. Velké využití mají cínové bronzы v korozním prostředí. Mohou pracovat za vysokých teplot.

Olověné bronzы se skládají zhruba z 30 % olova a zbytek je tvořen mědí a drobnými příměsemi. Tvrdost olověných bronzů klesá s teplotou velmi pozvolně, proto mohou pracovat za vyšších teplot než kompozice. Mají lepší kluzné vlastnosti než bronzы cínové, avšak není dosaženo vlastností měkkých kompozic, což má za následek vyšší opotřebení čepů než u kompozic. Z důvodu vyšší pevnosti a vyšších pracovních teplot mají olověné bronzы oproti kompozicím velkou únosnost. Jsou často využívány u spalovacích motorů. Mezi největší nevýhody olověných bronzů lze řadit malou odolnost proti korozi.

Mezi další bronzы lze řadit například červený bronz (pro své dobré kluzné vlastnosti, vyšší tvrdost 60 HB a odolnosti proti zadření mají nahrazovat bronzы cínové) a hliníkové bronzы. Hliníkové bronzы pro svou vysokou tvrdost (140 – 160 HB) mohou přenášet velká zatížení, avšak jeho kluzné vlastnosti jsou horší.

Velmi dobré materiály pro kluzná ložiska jsou hliníkové slitiny. Vyznačují se velmi dobrými kluznými vlastnostmi, vysokou mezí únavy, odolností proti korozi, velkou tepelnou vodivostí a snadnou opracovatelností. Mohou být značně i dynamicky zatížena a mohou pracovat jak za malých, tak velkých rychlostí.

Za určitých provozních podmínek lze použít jako ložiskový materiál šedou litinu. Má rozdílné vlastnosti od většiny ložiskových materiálů. Využívají se v mechanismech s dobrým mazáním a klidným chodem bez rázů.

Jako ložiskové materiály lze využít i plastické hmoty. Patří sem například tvrzené tkaniny. Tyto ložiskové materiály svou pevnost a tvrdostí nedosahují hodnot bronzů, jsou však vhodné pro dynamické namáhání, protože dobře tlumí rázy. Mezi další ložiskové materiály lze řadit polyamidy (nylon, silon, igamid, sloamid). Dosahují dobrých kluzných vlastností, houževnatosti a odolnosti proti opotřebení. [6, 9]

2.1.3 Mazání kluzných ložisek

Každé přidání látky mezi kluzné plochy, které má za následek snížení tření se nazývá mazání. Tyto látky mohou být kapalné, plastické nebo tuhé (formou prášku). Volba maziva je dána hlavně konstrukcí kluzného uložení, požadovanou životností a provozními podmínkami. Mezi hlavní druhy maziv se řadí oleje a plastická maziva.

Olej lze dopravovat na kluzné plochy ručně olejnicí, knotem, kapací maznicí, mazacím kroužkem, nebo tlakovým čerpadlem. Nejvhodnější variantou mazání je užití tlakového čerpadla, kdy mazivo je stále pod tlakem vháněno na kluzné plochy a zaručuje kvalitní mazání. Nevýhoda tohoto typu mazání je nutnost vlastní mazací soustavy. Mazací oleje jsou získávány nejčastěji z ropy a jsou do nich přidávána různá aditiva, což jsou látky ke zlepšení některých vlastností mazacích olejů. Aditiva zlepšují odolnost proti oxidaci kluzných ploch, částečně čistí olej od usazenin, brání vzniku koroze a obecně snižují opotřebení kluzných ploch. Oleje pro automobily jsou rozděleny dle užití na zimní a letní. Zimní oleje jsou značeny například 0W, 5W, 10W, 20W, 25W, letní potom bez písmene 20, 30, 40, 50. Jsou i oleje celoroční, kdy v České republice je nejčastěji pro automobily používán typ 5W-40, který zajišťuje zaručené mazání mezi teplotami -30 – 35 °C. Oleje se od sebe liší hlavně různým použitím aditiv.

Plastická maziva, která lze v některých případech označovat jako mazací tuky či obecně vazelíny, jsou maziva o vyšší viskozitě než oleje. Používají se v kluzných ložiskách, kde je špatný přístup k ložisku a je nutné zajistit alespoň částečné mazání. Mohou pracovat v prašném prostředí, chemickém prostředí a vlhkém prostředí. Tento typ maziv je tvořen základním olejem (ropný, syntetický, řepkový olej atd.) a zpevňovačli (Li, Ca, Al atd.). Jako příklad používaných plastických maziv lze uvést – PM MOGUL LVS, LV 2-3, LVT 2. Jde o různou kombinaci základních olejů a zpevňovadel. [6, 8, 11, 12]

2.1.4 Zásady montáže kluzného ložiska

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, mohou být kluzná ložiska z jednoho, nebo více kusů. Každá z těchto variant má jiné postupy montáže.

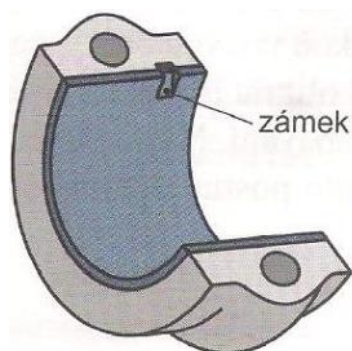
Nedělená kluzná ložiska se skládají z ložiskového tělesa a pouzdra. Pouzdro je nutné do ložiskového tělesa zalisovat. Velikost přesahu vnějšího průměru pouzdra vůči průměru díry tělesa závisí na velikosti předpokládaného zatížení, provozním teplotám nebo velikosti a způsobu vzájemného pohybu mezi čepem a pouzdrem (otáčení, kývání atd.). Pro méně zatěžovaná ložiska stačí jen malý přesah a lisování lze provést dřevěnou nebo pryžovou palicí, pro pouzdra s velkým přesahem je nutné použít hydraulický lis.

Před samotným nalisováním pouzdra do ložiskového tělesa je nutné očistit plochy a nanést na ně tenkou vrstvu plastického maziva, která brání zadření při lisování. Pro lisování je nutné ohřát ložiskové těleso, nebo podchladit ložiskové pouzdro. Na zajištění správného lisování a vyhnutí se zešikmení je vhodné použít vodícího kroužku. Při lisování ložisek s větším přesahem může dojít k zúžení vnitřního průměru pouzdra, a proto se pro takové lisování využívá vodící trn. Ložiska lisovaná do skříňových nebo stojanových těles využívají šroubových přípravků (zatahováků). Po správném zalisování pouzdra do ložiskového tělesa následuje vystružení vnitřního průměru pouzdra na požadovaný rozměr, který je důležitý pro správnou funkci ložiska.

Dělená ložiska lze nalézt například na ojnicích spalovacích motorů. Skládají se z děleného ložiskového tělesa a pánve. Polohu jednoho dílu ložiskového tělesa vůči druhému určují ustavovací kolíky. Pánve mohou být tlustostěnné nebo tenkostěnné.

Tlustostěnné pánve mívají po obou stranách osazení, které brání osovému posuvu. Proti protočení jsou pánve opatřeny kolíky.

Tenkostěnné pánve mají tloušťku stěny 1,5 – 3 mm. Jsou montována do obou částí ložiskového tělesa s přesahem. Tohoto přesahu je docíleno tak, že pánve před sešroubováním vyčnívají nad dělicí rovinu ložiskového tělesa. Po sesazení obou částí a jejich dotažení je zatlačeno ložisko na úroveň dělicí roviny a tím dochází k přilehnutí pánví k tělesu s jistým přesahem. Proti osovému posuvu ložiska brání zámek (obr. 41), který je tvořen proseknutím a zahnutím části pánve do tělesa ložiska. [6, 14, 15]



Obr. 41 Část děleného ložiska se zámkem [14]

2.2 Valivá ložiska

Valivá ložiska umožňují vzájemný pohyb strojních součástí a zároveň přenášejí působící síly vztahující se k vzájemnému pohybu. Skládají se z velkého a malého kroužku, klece (mohou být i bez ní) a valivých elementů. Valivé elementy jsou odvalovány po kroužcích, přičemž s nimi mají bodový nebo čarový (přímkový) styk. Klec slouží k oddělení valivých elementů od sebe a rovnoměrně rozmísťuje valivé elementy po obvodu. Valivé elementy mohou být:

- kuličky,
- válečky,
- jehlice,
- soudečky,
- kuželíky.

Základní dělení valivých ložisek je dle směru působící síly na axiální a radiální ložiska.

Volba vhodných valivých elementů, a tedy i volba konstrukce ložiska je závislá na požadavcích a vlastnostech strojní součásti. Ať už jde o trvanlivost ložiska, únosnost ložiska, možnost mazání ložisek nebo náklady potřebné na nákup ložisek.

Valivá ložiska jsou užívána v průmyslu pro jejich velké přednosti. Mají obecně velmi malé ztráty třením, ať už za chodu nebo při rozběhu. Při správné montáži a mazání téměř nedochází k jejich zadírání ani výraznému přehřívání. Mají velmi vysokou životnost, spolehlivost a snadnou údržbu. Mají také velmi široké pásmo používání ve smyslu volby otáček zařízení. [15, 16]

Rozdělení valivých ložisek může být různé, ať už dle směru působící síly, volby valivých elementů, dle styku elementů s kroužkem nebo dle množství řad (jednořadá, dvouřadá, víceřadá), viz kapitola 2.2.1 až kapitola 2.2.5.

2.2.1 Kuličková ložiska

V tabulce 2 lze vidět základní rozdělení kuličkových ložisek.

Tab. 2 Dělení kuličkových ložisek [15]

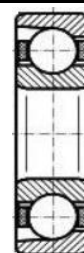
Radiální	Axiální
<p>Jednořadá radiální ložisko</p> <p>Jednořadá s kosoúhlým stykem</p> <p>Dvouřadá s kosoúhlým stykem</p> <p>Dvouřadá kuličková ložiska naklápěcí</p>	<p>S kosoúhlým stykem</p>

• Jednořadá radiální ložisko

Jsou nejpoužívanějším typem valivých ložisek. Kuličky jsou vedeny v drážkách kroužků axiálně i radiálně a díky velkému průměru kuliček mají tato ložiska velkou dynamickou únosnost. Tato únosnost není pouze v radiální ale i v axiálním směru, proto jsou vhodná i tam, kde nepůsobí na ložisko pouze radiální, ale i axiální zatížení. Mohou být jak nerozebíratelná (obr. 42), tak i rozebíratelná (obr. 43). U rozebíratelných je nevýhodou nižší únosnost, používají se pro malá zatížení a vysoké otáčky (elektromotory). [2, 15, 17]



Obr. 42 Jednořadé ložisko nerozebíratelné podle [18]

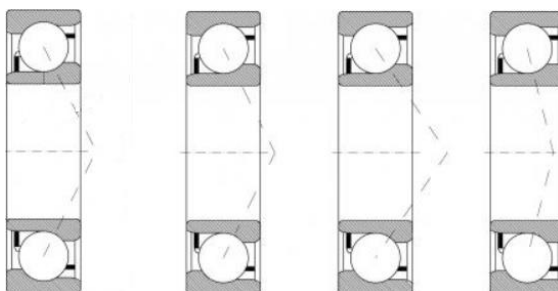


Obr. 43 Jednořadé kuličkové ložisko rozebíratelné dle [18]

- **Jednořadé radiální ložisko s kosoúhlým stykem**

Tato ložiska mají v oběžné dráze kroužků polohu, kdy spojnice styčných bodů kuličky svírá se svislou osou úhel, kterému se říká styčný úhel (obr. 44). Čím je tento úhel vyšší, tím roste axiální únosnost ložiska a jeho radiální únosnost pozvolna klesá. Například ložiska se styčným úhlem do 12° jsou používána pro vybrušovací vřetena. Pro větší úhly jako 30° nebo 40° roste axiální únosnost a často nahrazují axiální ložiska.

Aby ložisko mohlo přenášet radiální zatížení, musí na něho působit zatížení axiální. Z toho důvodu se jednořadá radiální kuličková ložiska montují vždy ve dvojicích, a to do O (zády k sobě), do X (čely k sobě) nebo do T (za sebou). [15, 17]



Obr. 44 Jednořadá radiální kuličková ložiska s kosoúhlým stykem podle [19]

- **Dvouřadé radiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem**

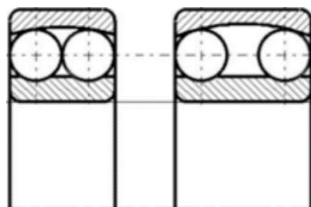
Výhoda ložisek spočívá v možnosti oboustranného přenášení axiálního zatížení. Spojnice styčných úhlů leží na svislé ose ložiska a je umístěna nad ložisko (obr. 45). Vyrábějí se buď s děleným nebo neděleným vnitřním kroužkem. Tato ložiska jsou například používána pro uložení kol automobilu. [15, 17]



Obr. 45 Dvouřadá radiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem podle [20]

- **Dvouřadá kuličková ložiska naklápěcí**

Toto ložisko se svou konstrukcí hodí pro vyrovnání malých výrobních nepřesností. Jejich vnější kroužek má oběžnou dráhu kulovou a vnitřní kroužek má dvě drážky pro kuličky (obr. 46). Jsou vhodná v zařízeních, kde dochází k průhybu hřídelů a podobně. Mají menší únosnost než stejně velká kuličková ložiska. Přenos axiální síly je též menší z důvodu styku kuliček s vnějším kroužkem, který může mít jak válcovou, tak i kuželovou díru. [15, 17]



Obr. 46 Dvouřadá kuličkové ložisko naklápěcí podle [18]

- **Axiální ložiska**

Pro přenos výhradně axiálního zatížení slouží axiální ložiska. Mohou být jednosměrná (obr. 47) nebo obousměrná (obr. 48). Jednosměrná ložiska se skládají z jedné řady kuliček umístěných v kleci a dvou plochých kroužků s rovnými dosedacími plochami. Obousměrná axiální ložiska jsou opatřena dvěma klecemi s kuličkami, které odděluje hřídelový kroužek. Kraje ložiska jsou tvořeny dvěma tělesovými kroužky s rovnou dosedací plochou. Axiální ložisko lze nalézt například pod hlavou vřetena. [15]



Obr. 47 Jednosměrné axiální ložisko podle [21]



Obr. 48 Obousměrné axiální ložisko podle [21]

- **Axiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem**

Jsou ložiska vhodná pro práci ve vysokých otáčkách. Spojnice styčných bodů kuliček svírají úhel kolem 50° . Používají se nejčastěji oboustranné a jsou používána pro uložení vřetene obráběcích strojů. [15]

2.2.2 Válečková ložiska

Válečková ložiska (obr. 49) se stejně jako ložiska kuličková skládají z dvou kroužků, klece a valivých elementů (válečků). V jednom, popřípadě v obou kroužcích jsou drážky pro vedení válečků. Válečková ložiska mají značně vyšší únosnost než ložiska kuličková. Pro jejich využití je nutné dodržet velmi dobrou souosost obou kroužků. Různé konstrukce umožňují jistý přenos axiálních sil, možnosti montáže atd. Válečková ložiska jsou vhodná pro použití při vysokých otáčkách. [15, 17]



Obr. 49 Válečkové jednořadé ložisko [22]

- **Dvouřadá a víceřadá válečková ložiska**

Dvouřadá ložiska jsou používána především pro uložení vřeten obráběcích strojů. Mají vysokou únosnost a vytvářejí tuhé uložení vřetene. Víceřadá ložiska dokáží přenášet velmi velké radiální zatížení. Vyrábějí se ve velkých rozměrech (průměr až 1800 mm). U takto rozměrných ložisek je nutné mít v kroužku mazací díry pro přísun maziva na jednotlivé válečky. [15]



Obr. 50 Dvouřadé válečkové radiální ložisko [22]

- **Axiální válečková ložiska**

Skládají se z dvou plochých kroužků a jednou nebo více řad válečků ve společné kleci. Mohou přenášet pouze axiální zatížení a jsou vhodná pro uložení vřetene svislých obráběcích strojů (karuselů) z důvodu velké přesnosti uložení.

Existují i provedení, kdy jsou válečky i oběžné dráhy sklopeny pod úhlem 45° , lze pak střídavě přenášet zatížení v jednom i v druhém směru. Používají se převážně v otočných věžích jeřábů, bagrů a v zařízeních, kde jsou jen malé otáčivé pohyby. [15, 17]

2.2.3 Jehlová ložiska

Byla vynalezena pro takové použití, kde není příliš mnoho místa. Jsou velmi podobná ložiskům válečkovým, jen jejich valivé elementy (jehlové válečky) mají velmi malý průměr. Mohou být jednořadá, nebo dvouřadá. Stejně jako ložiska válečková se skládají z dvou kroužků, klece a valivých elementů. Jsou konstrukce, kdy vnitřní kroužek chybí (obr. 51) a jeho funkci plní přímo kalený čep. Například pro převodové skříně zubových čerpadel jsou používána ložiska bez obou kroužků, tedy jen klec s jehlicemi. Funkce kroužků splňují čep a těleso převodovky. Jehlová ložiska využívá automobilový průmysl ve spalovacích motorech nebo kompresorech jako ojnicí ložisko. [15, 17]



Obr. 51 Jehlové radiální ložisko [23]

- **Axiální jehlová ložiska**

Nahrazují válečková ložiska tam, kde je málo místa a je nutná malá stavební výška ložiska. Využívá se častou pouze klece s jehlovými válečky (obr. 52) a funkci kroužků plní přímo součásti mezi kterými je ložisko uloženo. [15]



Obr. 52 Axiální jehlové ložisko [24]

2.2.4 Soudečková ložiska

Dvouřadá soudečková ložiska se skládají ze 2 řad valivých elementů (soudečkovitého tvaru) a společnou kulovou oběžnou dráhou na vnějším kroužku (obr. 53). To umožňuje naklopitelnost vnějšího kroužku. Mezi přípustné vzájemné naklopení kroužků lze považovat $1,5^\circ$. Soudečková ložiska se používají při nižších otáčkách než ložiska válečková. Přenáší radiální i axiální zatížení v obou směrech. Díky své naklopitelnosti a vysoké únosnosti jsou soudečková ložiska hojně využívána například u velkých převodovek, válcovacích stolicích nebo v nápravách železničních vozů. [15, 17]



Obr. 53 Soudečkovité dvouřadá ložisko [25]

- **Jednořadá soudečková ložiska**

Využívají se jen ojediněle, a to pro svou únosnost a naklopitelnost. Nejsou určeny pro přenos axiálních sil a lze je použít jako vodící ložisko. [15]

- **Axiální soudečková ložiska**

Pro svůj velký stykový úhel mohou axiální soudečková ložiska přenést velké axiální, ale i radiální zatížení (obr. 54). Axiální ložiska jsou též vyklopitelná a to až o $2-3^\circ$. Používají se převážně pro přenášení velkých axiálních zatížení u velkých převodovek, vertikálních elektrických točivých strojů nebo pro axiální vedení válcovacích stolic. [15]



Obr. 54 Axiální soudečkové ložisko [10]

2.2.5 Kuželíková ložiska

- **Jednořadá kuželíková ložiska**

Skládají se z jedné řady kuželíků, které funkčním čelem dosedají na vodící nákržek vnitřního kroužku (obr. 55). Tvar oběžné dráhy je kuželový. Stykové čáry se protínají v jednom bodě na ose ložiska. Kuželíková jednořadá ložiska vyžadují dobrou sousost dosedacích ploch pro kroužky. Mohou přenášet radiální zatížení (to vyvolává axiální složku zatížení a musí být vyrovnána), ale i axiální zatížení v jednom směru. Mají vysokou dynamickou únosnost a jsou využívána tak, kde dochází ke kombinovanému zatížení jako jsou převodovky automobilů, uložení kol nebo například v obráběcích strojích. [15, 17]



Obr. 55 Jednořadá kuželíkové ložisko [25]

- **Dvouřadá a čtyřřadá kuželíková ložiska**

Dvouřadá kuželíková ložiska (obr. 56) jsou používána tam, kde je nutné přenést velké radiální a axiální zatížení. Příliš se však nepoužívají, protože pro velká zatížení jsou vhodnější a používanější ložiska dvouřadá soudečkovitá. Čtyřřadá ložiska jsou využívána pro uložení čepů válců válcovacích stolic. Jsou schopna přenášet velké radiální zatížení za působení axiálních sil na ložisko. [15, 17]



Obr. 56 Dvouřadá kuželíkové ložisko [26]

- **Axiální kuželíková ložiska**

Používají se například u pohybových šroubů. Mají velkou únosnost. Skládají se z hřídelového kroužku s kuželovitou oběžnou dráhou a tělesového kroužku s rovnou oběžnou dráhou mezi kterými jsou umístěny kuželíky (obr. 57). [15, 17]



Obr. 57 Axiální kuželíkové ložisko [27]

2.2.6 Materiál valivých ložisek

Materiál používaný pro valivá ložiska musí být navrhovaný dle provozních podmínek. Zda ložiska pracují za nízkých, či vysokých teplot, pracují s rázy nebo bez rázů, pracují v korozním prostředí atd.

Standardně vyráběná ložiska jsou z prokalitelné oceli. Jde o uhlíko-chromové ocele (asi 1 % C a 1,5 % Cr). Po bainitickém nebo martenzitickém kalení a následném popuštění dosahují povrchy těchto ocelí 58 až 65 HRC.

Některé konstrukce vyžadují nezakalenou přírubu (odolávání únavovému poškození) a zakalenou oběžnou dráhu ložiska. K tomu slouží indukčně kalené ložiskové ocele. Tato ložiska využívá přírubová ložisková jednotka kola automobilu.

Pro ložiska zatížená velkými rázy jsou často voleny cementační ocele pro jejich tvrdý povrch a houževnaté jádro.

Korozivzdorné oceli jsou využívány pro ložiska v oxidačním prostředí jako je potravinářský nebo letecký průmysl. Využívají se zde oceli s vysokým obsahem chromu (X64Cr14, X105CrMo17 atd.).

V leteckých motorech se mohou vyskytovat i ložiska z ocelí pro vysoké teploty. Tento materiál je obecně používán pro ložiska pracující za teplot vyšší jak 250 °C.

Pro velmi rozměrná ložiska jsou voleny oceli pro povrchové kalení. Výhodou je, že oběžná dráha ložiska je zakalená a jádro je houževnaté.

Jako ložiskový materiál lze využít i keramika. Keramické kroužky a valivé elementy jsou vyráběny z nitridu křemíku. Tyto materiály jsou velmi tvrdé, mají nízkou měrnou hmotnost, nízkou tepelnou roztažnost, vysoký elektrický odpor a nemagnetické vlastnosti. [21, 28]

Tyto materiály jsou používány pro kroužky a valivé elementy ložisek. Pro klece valivých ložisek jsou voleny materiály jiné:

- lisované ocelové klece – z nízkouhlíkových ocelí válcovaných za tepla. Vyznačují se vysokou pevností,
- masivní ocelové klece – z nelegované konstrukční ocele. Využívají se pro velkorozměrová ložiska,
- mosazné lisované klece – lisované z mosazného plechu. Pro malá až středně velká ložiska. Nevhodné v prostředí, kde se může vyskytovat čpavek. Může dojít ke tvorbě trhlinek v mosazném plechu,

- masivní mosazné klece – z lité nebo kované mosazi. Odolný proti většině syntetických olejů a plastických maziv,
- polyamidové klece – většina vstřikovacích klecí bývá z polyamidu. Vyznačují se příznivým spojením pevnosti a pružnosti,
- polyéteréterketon (PEEK) – pro náročné provozní podmínky. Mohou pracovat za vysokých otáček, působení chemického prostředí nebo vysokých teplot. [15, 17, 28]

2.2.7 Mazání valivých ložisek

Mazání valivých ložisek má zásadní vliv na jejich životnost. Velikost tření mezi valivými elementy a kroužky je nutné snižovat, což přispěje k lepší účinnosti ložiska, menším teplotám ložiska a snížení hlučnosti ložiska. Při volbě maziva je nutné zhodnotit velikost ložiska, otáčky zařízení, velikost zatížení, provozní teplotu a požadavky na tření. Mazání je prováděno plastickými mazivy nebo olejem.

a) Plastická maziva

Neboli mazací tuky jsou využívána velmi často. Velkou výhodou plastických maziv je snadnější konstrukce uložení pro mazání. Náklady na utěsnění plastických maziv jsou nižší než pro mazání olejem.

Používají se maziva:

- vápenatá – nejsou vhodné pro dlouhodobé používání. Dají se používat do teploty 70 °C. Velmi odolné proti vodě a mechanickému hnětení,
- sodná – vykazují chemickou stálost, vhodné pro dlouhodobé používání. Při působení vody dochází k vyplavování maziva (tuku),
- lithná – značně chemicky stále, odolné proti vodě. Dají se používat až do teplot 150 °C,
- komplexní vápenatá – odolné proti vodě i mechanickému hnětení,
- speciální – bentonová a gelové tuky, EP tuky,
- syntetická – vyrobené ze syntetických olejů (silikon). Využívají se například pro letecké přístroje. Jsou však drahá, a tedy málo používaná. [15, 17]

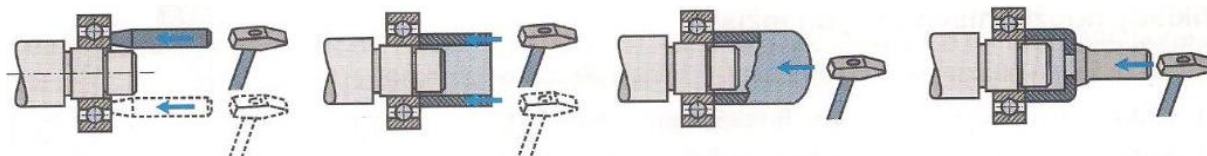
b) Mazání olejem

Využívají se převážně tam, kde působí velké otáčky, vyšší teploty a tam kde je to ekonomicky výhodnější. Oleje snižují tření, chrání ložisko před korozí a odvádějí teplo z ložiska. Pro mazání se využívají:

- Minerální oleje – většinou z nelegovaných běžných minerálních olejů. Mohou být obohaceny o přísady na zlepšení vlastností (trvanlivost, mazivost, schopnost pracovat při vyšších tlacích atd.).
- Syntetické oleje – používají se esterové a silikonové oleje. Mají velmi malou změnu viskozity s teplotou a vykazují oxidační stálost. Mají však malou pevnost v tahu a špatnou tvorbu filmu při mezním mazání. [15, 17]

2.2.8 Zásady montáže valivých ložisek

Při montáži nerozebíratelných ložisek je nutné vždy působit silou na vnitřní kroužek ložiska (aby nedošlo k jeho zničení). Velikost působící síly je závislá na typu uložení. Při uložení suvném stačí malá síla (ruční, popřípadě malé údery dřevěným, nebo pryžovým kladivem). Při uložení s přesahem je nutné použít trnů, trubek nebo pouzder sloužících k správnému a rovnoměrnému působení síly na vnitřní kroužek ložiska (obr. 58).

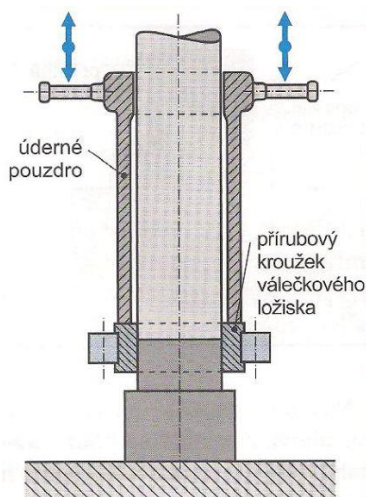


Obr. 58 Různé způsoby použití přípravků při montáži valivých ložisek dle [29]

Pákový nebo hydraulický lis působí silou rovnoměrně po celé čelní ploše vnitřního kroužku valivého ložiska a usnadňuje montáž. Pro snadnější montáž valivého ložiska s přesahem je vhodné využít ohřevu ložiska v olejové lázni (až na 80 °C).

Po samotné montáži je nutná kontrola radiální vůle ložiska. Pro méně přesné uložení je možné kontrolovat radiální vůli výkyvem vnějšího kroužku do stran. Pro montáž ložisek do přesných strojů musí být kontrolováno pomocí měřicích zařízení (např. úchylkoměry). Pro axiální jistění ložiska slouží pojistné podložky nebo matice.

U rozebíratelných ložisek je možné montovat vnitřní kroužek a vnější kroužek zvlášť. Vnitřní kroužek s valivými elementy je pomocí nárazecích pouzder, nebo pouzder úderných nasazen na hřídel (obr. 59). Při montáži vnějšího kroužku je nutné postupovat opatrně, aby nedošlo k jeho vzpříčení při montáži. U rozebíratelných ložisek slouží ke kontrole radiální vůle spároměrky. Kontrola probíhá u horního valivého elementu (válečku) při nadzvednutí vnějšího kroužku za použití správně spároměrky.

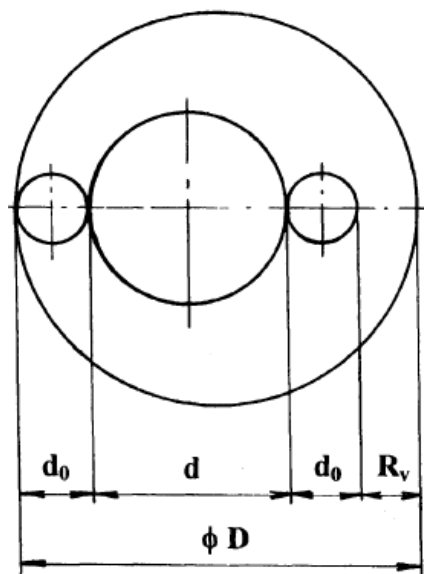


Obr. 59 Montáž vnitřního kroužku s válečky rozebíratelného valivého ložiska [29]

2.3 Selektivní montáž

Při řešení rozměrových řetězců s velmi malými tolerancemi lze využít selektivní (výběrovou) metodu montáže. Takovým řetězcem může být například výroba a montáž valivého ložiska. Při této metodě montáže se předepsaného rozměru a tolerance dosahuje výběrem a spojením předběžně změřených a roztríděných členů, které byly vyrobeny s ohledem na hospodárnou přesnost daného výrobního zařízení.

Rozměrový řetězec valivého ložiska se skládá z průměru oběžné dráhy vnějšího kroužku D , průměru oběžné dráhy vnitřního kroužku d , průměru valivých elementů d_0 (kuliček, válečků, soudečku atd.) a předepsané radiální vůle ložiska R_v (obr. 60). [30]



Obr. 60 Rozměrový řetězec valivého ložiska [30]

Pro valivé ložisko jsou pak zadány jmenovité hodnoty funkčních ploch. Tabulka 3 zobrazuje jmenovité hodnoty rozměrů funkčních ploch ložiska, které určují následující výpočet. Tabulka 4 a tabulka 5 vyčíslují hodnoty průměrů kroužků a valivých elementů jednotlivých skupin.

Tab. 3 Jmenovité hodnoty rozměru funkčních ploch ložiska

Části rozměrového řetězce	Jmenovitá hodnota
$\varnothing D$ oběžné dráhy vnějšího kroužku ložiska	56,44 mm
$\varnothing d$ oběžné dráhy vnitřního kroužku ložiska	48,44 mm
$\varnothing d_0$ valivého elementu ložiska	4 mm
radiální vůle ložiska	$0^{+0,008}_{+0,002}$ mm

Tab. 4 Variační obory skupin vnějšího kroužku

Číslo skupiny	ØD oběžné dráhy	
	Přes	do
1	56,440	56,442
2	56,442	56,444
3	56,444	56,446
4	56,446	56,448
5	56,448	56,450

Tab. 5 Variační obory skupin valivého elementu

Číslo skupiny	Ød ₀ valivých elementů	
	přes	do
1	3,999	4,000
2	3,998	3,999
3	3,997	3,998
4	3,996	3,997
5	3,995	3,996

Pro určení intervalu rozměrů Ød oběžné dráhy vnitřního kroužku ložiska lze využít následujících rovnic:

$$d_{MAX} = D_{min} - 2 \cdot d_{0 MAX} - R_{v MIN} \quad (2.1)$$

$$d_{MAX} = D_{MAX} - 2 \cdot d_{0 MIN} - R_{v MAX} \quad (2.2)$$

Tab. 6 Variační obory skupin vnitřního kroužku

Číslo skupiny	Ød oběžné dráhy	
	Ød _{MIN}	Ød _{MAX}
1	48,436	48,438
2	48,44	48,442
3	48,444	48,446
4	48,448	48,45
5	48,452	48,454

Z tabulky 6 vyplývá, že celkový rozsah Ød oběžné dráhy vnitřního kroužku ložiska je 48,436 - 48,454 mm.

Potom rozměr oběžné dráhy vnitřního kroužku $\varnothing d = 48,454^{+0,000}_{-0,018}$ mm. [30]

2.4 Porovnání užívaných ložisek u různých typů převodovek

Volba ložisek je vždy závislá na zatěžujících parametrech, směru působících sil, velikosti zástavbového prostoru, nebo teplotě prostředí. Nejčastěji používaná ložiska převodových skříní pro osobní i nákladní automobily jsou ložiska kuželíková, válečková nebo soudečková. U starších automobilů nebo převodových skříní s malým přenášeným výkonem stačí i levnější kuličková ložiska. Naopak pro velká nákladní vozidla jsou hřídele opatřeny z jedné strany i párem ložisek. Například převodovka typu Tatra s přenášeným výkonem 110 kW má vstupní hřídel opatřen kuželíkovým ložiskem spolu s ložiskem válečkovým a hřídel vložený s kombinací kuželíkového a soudečkového ložiska.

Převodové skříně větrných elektráren často využívají planetových převodovek jednostupňových, nebo dvoustupňových. Při výkonech elektrárny 1,5 – 2,5 MW jsou planetová kola nejvíce namáhaná. Tato kola jsou uložena na integrovaných zesílených válečkových ložiskách bez vnějšího kroužku s masivní mosaznou klecí vsazenou přímo do planetového kola. [31, 32]



Obr. 61 Planetová převodovka větrné elektrárny [32]

2.5 Další typy ložisek

Mezi další ložiska patří ložisko magnetické (obr. 52). Pracuje na principu magnetické levitace. Mohou být aktivní nebo pasivní. Aktivní magnetické ložisko se podobá elektromotoru, jen není dosahováno točivého momentu, ale přitažlivé síly. Tato přitažlivá síla nadzvedává hřídel z feromagnetického materiálu. Další součástí magnetického ložiska jsou snímače polohy hřídele, ovládací jednotka ložiska a řídicí algoritmus. Tento algoritmus řídí polohu hřídele uvnitř ložiska přidáváním nebo ubíráním budícího proudu elektromagnetů. Vzduchová mezera mezi statorem a rotorem ložiska se pohybuje mezi 0,5 až 2 mm. Aktivní ložiska mohou být axiální i radiální.

Pasivní magnetická ložiska nevyžadují zdroj elektrické energie. Toto ložisko využívá permanentních magnetů, popřípadě supravodiče. Ložiska s permanentními magnety jsou jednoduchá, levná a velmi spolehlivá.

Magnetická ložiska se nemažou, mohou pracovat ve vakuu, vhodné pro aplikace citlivé na vibrace, mohou během provozu snímat velikost zatížení a snižují spotřebu energie redukcí tření, což způsobuje vyšší výkonnost. [33, 34, 35]



Obr. 62 Radiální magnetické ložisko [35]

3 TYPY PŘEVODOVÝCH SKŘÍNÍ

Převodové skříně slouží k transformaci výkonu mezi motorem a pracovním ústrojím (pohon kol automobilu, pohon lodního šroubu atd.). Dochází k transformaci výkonu při rotačním pohybu na vstupu a na výstupu z převodovky. Dochází zde ke změně momentů a úhlových rychlostí mezi vstupním a výstupním hřídelem. Poměr úhlové rychlosti na vstupu a na výstupu se nazývá převodový poměr a značí se písmenem i . Jestli je $i > 1$ jedná se o převod do pomala (převod kdy je potřeba většího momentu na úkor nižší úhlové rychlosti). Pokud je $i < 1$ jedná se o převod do rychla (vyšší úhlová rychlost na výstupu při menším momentu M). [7, 36]

3.1 Rozdělení převodových skříní

Ozubené převody uvnitř převodových skříní slouží k transformaci momentu a úhlové rychlosti mezi hřídeli různými průměry jejich ozubených kol. Převod může být konstruován jako jednostupňový (vzájemné působení pouze dvou ozubených kol) nebo dvou a více stupňový (kdy výsledného momentu a úhlové rychlosti je dosaženo použitím většího množství ozubených kol a jejich kombinací. Osy hřidelů mohou být rovnoběžné, různoběžné nebo i mimoběžné. Správnou kombinací ozubeného soukolí je možné přenášet vysoké výkony při vysokých otáčkách. Převody, ale i převodové skříně lze rozdělit na:

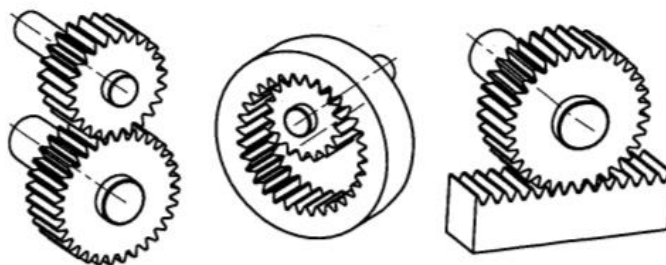
- čelní soukolí,
- kuželová soukolí,
- šroubová soukolí,
- šneková soukolí.

3.1.1 Čelní soukolí

Čelní soukolí (obr. 63) využívá k transformaci výkonu mezi hřídeli ozubená kola, jejichž osy jsou rovnoběžné. Jde o nejběžnější a nejstarší způsob převodu ozubených kol. Skládá se z pastorku (menší kolo) a ozubeného kola (popřípadě více ozubených kol). Používají se často mechanismy, kde pohon (motor) pracuje při vysokých otáčkách a je třeba tyto otáčky snížit a získat vyšší krouticí moment. Používají se velmi často v převodových skříních osobních automobilů. Při odvalování dvou ozubených kol dochází i ke změně smyslu otáčení. Pokud je to nežádoucí, tak se používá pastorek s vnějším ozubením a k němu kolo s ozubením vnitřním. Nedochozí zde ke změně smyslu otáčení při zachování převodového poměru. [7, 36]

Dle tvaru ozubení kol lze čelní soukolí rozdělit na:

- s přímými zuby,
- s šikmými zuby,
- s šípovými zuby,
- se zakřivenými zuby.



Obr. 63 Čelní soukolí s ozubenými koly s přímými zuby [36]

3.1.2 Kuželové soukolí

Dochází k přenosu výkonu mezi různoběžnými hřídeli, jejich úhel bývá nejčastěji 90° . Na rozdíl od soukolí čelního, které není příliš citlivé na nepřesnosti, musí být kuželové soukolí vyrobeno a smontováno přesně. Při nesprávné montáži nebo výrobě dochází k rychlému opotřebovávání zubů, zkrácení jejich životnosti, zvýšení hlučnosti chodu a vznikem vibrací. U Kuželového soukolí mohou být zuby: [36]

- přímé,
- šikmé,
- kruhové,
- spirální.

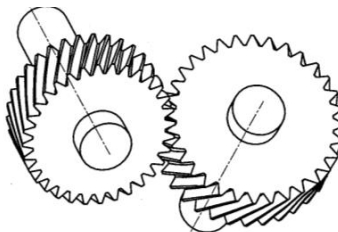
Kuželová kola jsou nejčastěji vyráběna odvalovacím způsobem. Kuželová soukolí (obr. 64) lze nalézt například v diferenciálu vozidel, který umožňuje různou rychlost otáčení kol při průjezdu zatáčkou.



Obr. 64 Kuželové soukolí s přímými zuby [37]

3.1.3 Šroubové soukolí

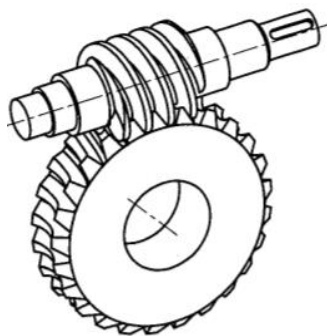
U šroubového soukolí jsou osy kol mimoběžné (obr. 65). Nejčastěji jsou šroubová soukolí tvořena čelními ozubenými koly se šikmými zuby, které ovšem nemají společnou čelní rovinu. U šroubového soukolí se při přenosu větších výkonů vyskytují významná dotyková napětí, a proto jsou tato soukolí nevhodná pro přenos větších zatížení. Toto soukolí se pro svou náročnou výrobu příliš nepoužívá a je často nahrazováno čelním soukolím se šikmými zuby. [7, 36]



Obr. 65 Šroubové soukolí [36]

3.1.4 Šnekové soukolí

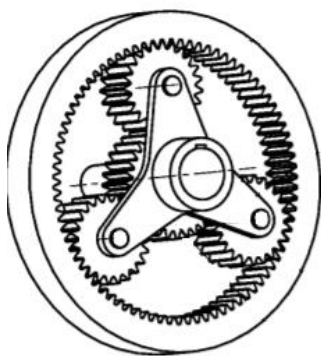
Šnekové soukolí se skládá z šneku, který má tvar jednoduchého nebo vícechodého šroubu vyráběného soustružením nebo frézováním, a šnekového kola, které má tvar tvarové kopie šneku (obr. 66). Pro výrobu šnekového soukolí je zapotřebí dodržet vysokou výrobní přesnost, kvalitu ozubení a vhodnou volbu materiálu kol (tvrzená ocel s broušenými zuby). Šnekové soukolí může dosahovat velmi vysokých převodových poměrů. Soukolí je velmi tuhé, samosvorné a může přenášet velké výkony. Velké využití mají v dopravnících, stavební technice, míchací technice atd. [36]



Obr. 66 Šnekové soukolí [36]

3.1.5 Planetový převod

U planetového soukolí alespoň jedno z ozubených kol vykonává dvě rotace zároveň. Rotaci kolem své vlastní osy a rotaci kolem osy unašeče. Takovému kolu se říká satelit. Soukolí planetových převodových skříní bývají nejčastěji tvořeny čelním ozubením nebo koly kuželovými (obr. 67). Planetové převodovky mohou dosahovat větších převodových poměrů než více zmíněné převody. Jelikož přenos výkonu je zprostředkován více satelity a je tedy rovnoměrně přenášen dochází k menšímu opotřebení zubů kol. Unašeč rozmísťuje ozubena kola pravidelně po obvodu, což má vliv na menší namáhání ložisek hlavních hřídelů. Pracuje velmi tiše a s vysokou účinností. Mezi nevýhody lze zařadit složitější výrobu a montáž planetového soukolí. [7, 36]



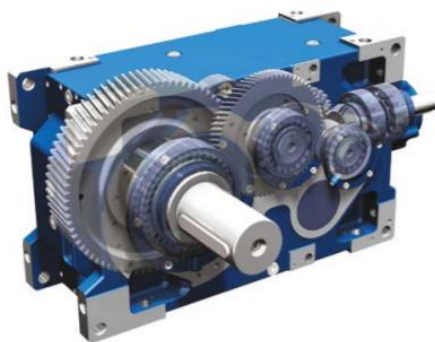
Obr. 67 Planetový převod dle [36]

3.2 Ukázka převodových skříní

Převodové skříně nejsou pouze součástí spalovacích motorů. Jsou nedílnou součástí mnoha mechanismů, které lze vidět i v běžném životě. Například převodová skříň zvedáku jeřábu C1200 (obr.68), nebo převodové skříně pohonu potravinářského mlýnu (obr.69), kde je kladen důraz na nepropustnost oleje kolem hřídelů.



Obr. 68 Převodová skříň jeřábu C1200 [38]



Obr. 69 Převodová skříň pro pohon mlýnu na zpracování potravin [39]

Nemusí vždy jít o velké převodové skříně. Převodové skříně lze nalézt například i u automatických dveří (obr.70), nebo malých převodovek, které jsou pevně spojené s elektromotorem (obr. 71).



Obr. 70 Převodová skříň automatických dveří [40]



Obr. 71 Velmi malé převodové skříně [41]

Převodové skříně mohou být v určitých mechanismech konstrukčně složité. Převodová skříň pro tahač od firmy Volvo je velmi složitý mechanismus (obr.72).



Obr. 72 Převodová skříň do tahače od firmy Volvo [42]

4 TECHNOLOGICKÉ ZPŮSOBY VE VÝROBĚ

Pro výrobu přesných děr je nutné stanovit odpovídající technologii výroby, vhodné stroje a nástroje. Díry je možné vrtat, vyvrtávat, vypalovat, soustružit, frézovat atd. Na výrobu přesných děr pro uložení ložisek převodových skříní se v běžné praxi používají nejčastěji přesné horizontální vyvrtávačky nebo velmi přesná CNC obráběcí centra a k nim příslušné vyvrtávací nástroje. Vyrobené díry jsou pak pomocí dokončovacích operací vyhotoveny dle požadavků na kvalitu povrchu, rozměrovou přesnost nebo předepsaný geometrický tvar díry. Dle konstrukčního návrhu převodové skříně je nutné také přemýšlet nad vyrobiteľností děr pro ložiska. Neméně důležitou součástí výroby děr pro uložení ložisek je tako výsledná kontrola souososti a předepsaných rozměrů děr. [41]

4.1 Dokončovací metody pro obrábění děr

Dodržení předepsaných hodnot kvality povrchu, rozměrové přesnosti, vizuální podoby či geometrického tvaru děr je možné dosáhnou pomocí dokončovacích operací. Mezi tyto operace patří [43, 44]:

- vystružování,
- broušení,
- lapování,
- superfinišování,
- honování,
- leštění,
- válečkování.

4.1.1 Vystružování

Jde o dokončovací operaci při výrobě děr pomocí nástroje zvaném výstružník. Do předem připravené (vyhrubované) díry s přídavkem na vystružení (vždy tam musí být daný minimální přídavek, jinak nástroj nezabere do materiálu ale pouze materiál elasticky a plasticky deformuje), je přiváděn nástroj, který obrobí povrch na požadovaný rozměr. Výstružníkem lze dosáhnout toleranční třídy IT7 až IT6.

Výstružníky lze dělit na [43, 44]:

- ruční – nástroj má delší ostří do šroubovice,
- strojní – ostří je zde kratší a rovné nebo má mírnou levou šroubovici (vzniká lepší jakost povrchu, nutný odvod třísek, omezené použití do slepých děr),
- NC výstružníky – jsou upínány do přesných upínacích pouzder, což má za následek minimální házení výstružníku a dosažení rozměrové přesnosti.

4.1.2 Broušení

Broušení patří mezi nejstarší dokončovací operace. Při broušení dochází k úběru materiálu dochází působením zrn brusiva na broušený povrch. Brousit lze [43]:

- rovinné plochy,
- válcové plochy vnitřní i vnější,
- tvarové plochy.

Nástroje sloužící k broušení jsou broušící kotouče, segmenty, kameny a pásy. Broušící nástroje jsou samoostřící (vylomení tupých zrn). Aby se zachoval jejich tvar je nutné je po určité době orovnávat. Broušící kotouče se skládají z brusiva, pojiva a pórů. Jako brusivo lze použít [43, 44]:

- umělý korund,
- karbid křemíku,
- kubický nitrid bóru,
- syntetický diamant.

Pojivo slouží ke spojení zrn brusiva do definovaného tvaru. Používaná pojiva:

- keramická,
- pryžová,
- pryžová s textilní výztuží,
- uměla pryskyřice,
- umělá pryskyřice s textilní výztuží,
- magnéziová.

Metod broušení je celá řada. Užitá metoda závisí na povrchu, který je třeba brousit. Základní rozdělení metod lze vidět v tab.7.

Tab. 7 Dělení metod broušení [43]

Broušení do kulata	Broušení rovinné	Broušení tvarové
Vnější Vnitřní Axiální Zápichové Bezhroté Planetové	Obvodem kotouče Čelem kotouče	Tvarovými kotouči Kopírovacím způsobem (NC, CNC)

Řezná rychlost závisí na volbě pojiva a způsobu broušení. U starších kotoučů se řezná rychlost pohybovala kolem $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, u novějších až $120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Stroje pro broušení jsou brusky. Ty se volí dle operace broušení, mohou být:

- hrotové,
- na díry,
- bezhroté,
- rovinné,
- nástrojářské,
- pásové,
- speciální.

Broušením lze dosáhnout velmi přesných a hladkých ploch, což spadá do rozměrové přesnosti IT11 až IT3 s kvalitou povrchu až Ra 0,025. [43, 44]

4.1.3 Lapování

Odebírání materiálu probíhá mezi pohybujícími se nástroji a obrobkem, kde mezi nimi jsou rozptýleny zrna brusiva v kapalině nebo pastě. Těmito pohyby dochází k neustále se měnící dráze zrn, při které odebírají jemnou třísku svými různě orientovanými hranami.

Lapování lze dělit dle pohonu:

- ruční – nástroj je držen v ruce a obrobek se nepohybuje, brousící zrna s kapalinou jsou do místa mezi nástroj a obrobek dopravována štětcem,
- strojní – stroj vykonává veškeré pohyby nástroje a obrobku, kde brousící zrna a kapalina jsou dopravovány čerpadlem.

dle principu úběru materiálu:

- mechanické – k odebírání materiálu slouží pouze působení brusiva na plochu,
- chemicko-mechanické – kapalina chemicky rozrušuje vrstvu obrobku a brousící zrna tuto vrstvu odstraňují,
- elektrolytické – k úběru materiálu slouží elektrický proud, chemické působení kapaliny i mechanické působení brousících zrn.

Lapovat lze vnější i vnitřní plochy, přičemž tyto plochy mohou být ocelové (kalené), nitridované, hliníkové, měděné, ale i ze slinutých karbidů. Lapování se nejčastěji používá pro dotoky měřidel, kalibry, díry velmi přesných kluzných ložisek, plochy oběžných ploch valivých ložisek, povrch valivých elementů (kuličky, válečky, kuželíky atd.).

Před lapováním je nutné tam, kde je požadovaná vysoká jakost obrobeného povrchu, přesné rozměry a tvar. Lapování trvá dlouhou dobu a je nákladné.

Nástroj pro lapování se skládá z lapovacího nástroje (negativ k lapované ploše) a lapovacího prostředku (brousící zrna v kapalině). Lapovací nástroj může mít tvar:

- desky nebo kotouče – rovinné plochy,
- pouzdra – pro vnější rotační plochy,
- trny – pro vnitřní rotační plochy.

Lapování se provádí na lapovacích strojích (obr. 73), které jsou buď univerzální (vertikální nebo horizontální) nebo na speciálních, které jsou určeny pro lapování specifické plochy, jako jsou boky zubů ozubených kol, valivá tělíska pro valivá ložiska atd. Tyto stroje jsou poloautomatické nebo automatické. [43, 44]



Obr. 73 Lapovací stroj [45]

Povrch po lapování dosahuje hodnot IT1 – IT6 pro rozměrovou přesnost a kvalita povrchu se zde pohybuje mezi $R_a = 0,005 - 0,4 \mu\text{m}$. Hodnoty přesností jsou závislé na použité metodě lapování (velmi jemné, jemné, normální). [43, 44]

4.1.4 Superfinišování

Dokončování plochy probíhá pomocí působení brousících zrn na povrch obrobku. Brousící zrna jsou pevně spojena s kotoučem a tvoří superfinišovací nástroj (obr. 74). Obrobek je upnut (nejčastěji ve sklíčidle soustruhu a podepřen koníkem) a vykonává rotační pohyb (někdy i přímočarý). Nástroj je následně přisunut k obrobku a vykonává přímočarý kmitavý pohyb. To má za následek častou změnu místa úběru jednotlivých zrn na kotouči a dobrého odstraňování třísek se vznikem kvalitního povrchu.

Superfinišovat lze jak vnitřní, tak i vnější rotační, ale i rovinné plochy. Lze obrábět prakticky všechny druhy materiálů. Mezi součásti, které se superfinišují patří čepy klikových hřídelů, vačky, kulové čepy, ložiskové kroužky, valivá tělíska ložisek, ozubená kola atd. Při superfinišování je nutné používat chladicí kapalinu, jejíž úkol je hlavně mazat a čistit obráběnou plochu.

Brousící zrna jsou z různých materiálů, jako například syntetický korund, karbid křemíku, syntetický diamant nebo kubický nitrid bóru. Brousící zrna jsou ke kotouči připevňována nejčastěji keramickými pojivy (bakelitové pojivo).



Obr. 74 Superfinišovací kotouče [46]

Superfinišování je prováděno na:

- klasických obráběcích strojích – soustruh, bruska, vyvrtávačka, ke kterým jsou přimontována přídatná zařízení. Vhodné pro kusovou výrobu,
- univerzální superfinišovací stroje – stroje pro malosériovou výrobu, je zde možné měnit typy obráběných součástí,
- speciální – automatické, nebo poloautomatické stroje používané v sériové výrobě.

Měrný tlak mezi obrobkem a nástrojem je volen nejčastěji 0,2 MPa, obvodová rychlost může být kolem 30 m·min⁻¹. Posuv nástroje na jednu otáčku je často volen 2-4 mm.

Superfinišování je vcelku rychlá dokončující operace (desítky sekund), při dosažení kvality obrobené plochy až Ra 0,01. Nelze však odstraňovat tvarové nepřesnosti (kruhovitost, válcovitost). [43, 44]

4.1.5 Honování

Obrábění probíhá odebráním materiálu pomocí brousicích zrn upevněných pojivem v honovacích lištách nebo honovacích kamenech. Honovaný povrch je ve stálém styku s honovacím nástrojem. Nástroj nejčastěji vykonává rotační pohyb, a zároveň přímočarý vratný pohyb. Může nastat i situace, že nástroj vykonává pouze přímočarý vratný pohyb a rotační pohyb je obstarán obrobkem. Při honování je nutný velký přísun procesní kapaliny. Hlavními parametry procesu jsou obvodová rychlost, rychlost přímočarého vratného pohybu nástroje a měrný tlak. Dělení honování lze vidět v tabulce 8.

Tab. 8 Rozdělení způsobu honování [43]

Dle tvaru	Dle pracovního režimu	Dle použití
Vnitřní	Klasické	Jednostupňová
Vnější	Elektrolytické	Dvoustupňová
Rovinné	Vibrační	

Honovat lze téměř všechny materiály, kalenou i nekalenou ocel, mosazi, bronz, litinu, slinuté karbidy atd. Mezi často honované součásti patří hydraulické a pneumatické válce, vodící pouzdra, válce spalovacích motorů, brzdové válce, ložiskové kroužky a kluzná ložiska.

Honovací nástroj se skládá z tělesa hlavy a honovacích kamenů (obr. 75). Tyto kameny mají tvar kvádry se čtvercovou nebo obdélníkovou podstawou. Kameny jsou přitlačovány k obráběnému povrchu a jsou v neustálém styku s povrchem součásti. Kameny se vyrábějí nejčastěji ze slinutého korundu, karbidu křemíku, diamantu, grafitu, karbidu bóru nebo nitridu boru.



Obr. 75 Honovací nástroj [47]

Honování lze provádět buď ručně na vrtačce, nebo na honovačce. Honovačky lze dělit dle konstrukce na:

- horizontální – pro honování malých součástí, ale i dlouhých děr,
- vertikální – pro honování velkých rozměrných obrobků,
- speciální – pro obrábění vnějších rovinných ploch.

Dle stupně automatizace lze honovačky dělit na:

- bez mechanizace a automatizace,
- poloautomaty,
- automaty,
- automatické linky.

Rezné podmínky se volí dle honovaného materiálu. Obvodová rychlost nástroje je volena mezi $14-37 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, axiální posuvová rychlost se pohybuje mezi $9-17 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Při honování lze dosáhnout volbou správných podmínek a přídku až na hodnotu $R_a 0,025$, odstranění kuželovitosti, nekruhovitosti nepřímosti atd. tolerance honovaných děr může dosahovat IT4 až IT2. [43, 44]

4.1.6 Leštění

Metodou leštění je možné odstraňovat drobné nerovnosti, vytvořit zrcadlový lesk na povrchu a zlepšit jeho jakost. Kvalita povrchu se u leštění $R_a = 0,1 - 0,8 \text{ }\mu\text{m}$. Nejčastěji je leštění prováděno lešticími kotouči (obr. 76), které bývají:

- bavlněné (lisované),
- látkové,
- dřevěné,
- kovové,
- plastové.

Zrnitost těchto kotoučů se pohybuje mezi $30 - 100 \text{ }\mu\text{m}$. Při leštění se často využívá lešticí pasta, která obsahuje brusivo o velikosti kolem $10 \text{ }\mu\text{m}$.

Dále je možné používat kartáčové kotouče na odstranění opalů, rzi, barvy atd. Činná část těchto kotoučů může být z kovových drátěných vláken, přírodních nebo syntetických štětín (silon, nylon atd.). Toto leštění probíhá na bruskách, vrtačkách a leštičkách. Přítlačné síly pro leštění mohou být mezi $30 - 120 \text{ N}$, a obvodová rychlost kotoučů dosahuje $10 - 60 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Mezi leštění patří i omílání v bubnech. Do kovového, nebo dřevěného bubnu jsou vloženy leštěné součásti a leštící směs (brousící prášek, úlomky keramiky, ocelová tělíska, voda atd.). Bubny se mohou otáčet ($50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) nebo vibrují. Dosahovaná kvalita povrchu $R_a = 0,1 - 0,4 \text{ } \mu\text{m}$.

Mezi další způsoby leštění lze zařadit elektrochemické, chemické nebo leštění pásmy. [43]



Obr. 76 Příklad leštícího kotouče [48]

4.1.7 Válečkování

Podstatou válečkování je vyvolání plastické deformace na opracovaném povrchu součásti pomocí otáčejících se válečků, které jsou k povrchu silou přitlačovány. Válečkováním lze opracovávat jak vnitřní, tak i vnější plochy.

Nástroj je tvořen tvářecími elementy (válečky) a držákem s upínací stopkou (obr. 77). Válečkování probíhá na běžných obráběcích strojích, tedy na soustruhu, vrtačce, obráběcím centru atd.



Obr. 77 Válečkovací nástroj [48]

Válečkovat lze všechny kovové materiály do pevnosti 1400 MPa. Na výsledný povrch má vliv kvalita povrchu obrobenej plochy, která by měla dosahovat hodnot $R_a = 1,6 - 4 \text{ } \mu\text{m}$, čehož je docíleno soustružením na čisto, jemným frézováním a vystružováním. Měrný tlak mezi válečkem a plochou obrobku je dalším faktorem ovlivňujícím výsledek válečkování. Tento tlak lze stanovit z následující rovnice 4.1.

$$p_k = (1,8 \text{ až } 2,1) \cdot R_e \text{ [MPa]} \quad (4.1)$$

Kde: p_k – měrný tlak při válečkování [MPa]

R_e – mez kluzu [MPa]

Po válečkování lze dosáhnout kvality povrchu $R_a = 1,6 - 0,1 \text{ } \mu\text{m}$ a přesnost rozměrů dosahuje IT5 až IT8. [44]

4.2 Volba stroje pro obrábění přesných děr pro ložiska převodových skříní

Při výrobě děr pro uložení ložisek lze určit jako vhodný stroj horizontální vyvrtávačku (obr. 78) pro svou vysokou tuhost vřetene a schopnost otáčet součást pomocí otočného stolu. Dále lze použít stroje jako jsou horizontální frézky, vrtačky nebo velká CNC obráběcí centra.



Obr. 78 Horizontální vyvrtávačka [50]

Tato horizontální CNC vyvrtávačka využívající řídicí systém Heidenhain, Fanuc nebo Siemens. Je vybavena otočným stolem pro možné vyvrtávání z různých stran. Velikost otočného stolu může být až 2000 x 2400 mm při nosnosti 20 000 kg. Pojezdy v osách mohou dosahovat:

- osa X – 2000-5000 mm,
- osa Y – 2000-3500 mm,
- osa Z – 1500-3000 mm.

Tyto rozměry jsou dostačující pro obrábění menších převodových skříní osobních automobilů. Pro přesnost stroje jsou vypovídající i faktory jako [50]:

- osa Y řízena kuličkovým šroubem (kuličkové šrouby mají třídu přesnosti až IT1 (0,006/300 mm)),
- přímé odměřování polohy optoelektronickými lineárními pravítky,
- monitoring a teplotní stabilizační systémy,
- otáčení stolu bez vůle s vysokou přesností.

4.3 Porovnání metod výroby.

Díry pro ložiska je možné vyrábět více způsoby. Záleží však na konstrukčním návrhu převodové skříně, polotovaru převodové skříně nebo strojní vybavenosti firmy. Podle konstrukčního návrhu a možnostech strojů lze navrhnout výrobu děr z jedné strany nebo pomocí otočného stolu obrábět z obou stran.

4.3.1 Volba polotovaru a přípravné operace

Polotovarem převodových skříní bývá nejčastěji odlitek z litiny (ČSN 42242), nebo slitiny hliníku (např. 424331.71 nebo také AlSi10MgMn). Volba odlitku je proto, že převodové skříně bývají tvarově složité a pro obrábění z kvádrového polotovaru příliš nákladné a zdlouhavé (obr. 80). [51]



Obr. 79 Příklad odlitku převodové skříně [51]

Obrábění děr je možné provádět ve stavu, kdy je převodová skříň smontovaná dohromady. Nejprve je nutné obrobit spodní plochu, na kterou se dále převodová skříň (vana) bude ustavovat. Poté obrobit dosedací plochy mezi víkem a vanou převodové skříně, obrobit díry pro přesné kolíky na ustavení polohy vany a víka, a také obrobit díry pro šrouby k pevnému spojení vany s víkem převodové skříně.

Ve smontovaném ustaveném stavu na spodní obrobené ploše vany, je nutné před samotným vyvrtáváním ještě nejprve zarovnat čelo před dírou na ložisko sloužící k odměřování hloubky díry atd.

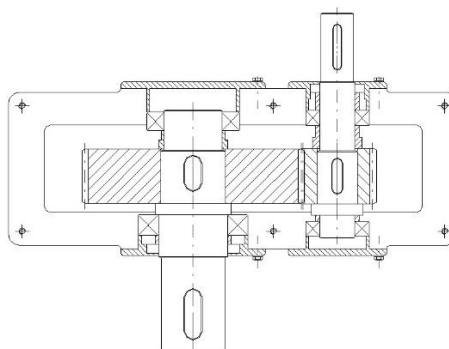
4.3.2 Konstrukční řešení axiálního usazení ložisek v převodové skříní

Konstrukční řešení převodových skříní a ustavení ložisek jsou různá. Axiální uložení ložiska může být zhotoveno tak, že z jedné strany je opřeno o osazení hřídele, a z druhé strany je zajištěno víkem. Jako další používanou variantou při výrobě převodovek, je snaha jedno z ložisek opřít o osazení hřídele a z druhé strany o nálitek na převodové skříní. Tato strana skříně bývá neprůchozí. Druhé ložisko pak je opřené o osazení a zajištěné víkem a opatřené těsnicím kroužkem, které brání vstupu nečistot do převodovky a unikům oleje z převodovky.



Obr. 80 Příklad těsnicího kroužku [52]

Při první variantě axiálního uložení ložiska (osazení a víko) lze uvažovat jak o vrtání a vyvrtávání děr z jedné nebo z obou stran (obr. 81). Zde je nutné vzít v potaz velikost převodovky, potřebnou délku a tuhost nástrojů a možnosti stroje.



Obr. 81 Převodová skříň [53]

Při variantě druhé lze vrtání a vyvrtávání provádět pouze z jedné strany z důvodu nemožné dostupnosti k ploše díry ze strany druhé.

4.3.3 Obrábění děr pro ložiska z jedné strany.

Pro obrábění z jedné strany je nutné mít dlouhý nástroj, který je hodně vyložený. Dlouhý nástroj má tendenci se na svém konci mírně ohýbat. Při obrábění dlouhým nástrojem mohou vznikat vibrace, což zvyšuje hlučnost a zhoršuje kvalitu vyrobené plochy. V dnešní době jsou již různá řešení na snížení vibrací u hodně vyložených nástrojů a tím dochází ke zkvalitnění vyráběné plochy.

Výhodou této metody je přesnější dodržení souososti obou děr v převodové skříně. Pro menší převodové skříně je tato metoda vhodnější, nástroj není tak dlouhý a dodržení souososti je klíčové pro životnost ložisek, tichost chodu převodovky a obecně celková životnost celé převodovky.

4.3.4 Obrábění děr pro ložiska z dvou stran za použití otočného stolu

Otočného stolu při obrábění děr převodové skříně lze využít jen při variantě, kdy jsou pro axiální zajištění ložiska použita víka. Výhodou této metody je možnost využití krátkého tuhého nástroje a lepší a kvalitnější výroba děr než dlouhým nástrojem. Velkou nevýhodou využití této metody pro obrábění děr pro ložiska je schopnost dodržet souosost obou děr. Je to způsobeno určitou chybou v polohování otočného stolu, může zde chyba navádění nástroje a také chyba obsluhy ve smyslu měření polohy nástroje.

Tato metoda je vhodnější pro velké převodové skříně, kdy není možné koupit tak dlouhý nástroj, nebo použití tak dlouhého nástroje by mělo za následek velké nepřesnosti ve výrobě.

4.3.5 Obrábění děr pro ložiska oběma způsoby

Je možné tyto dva způsoby kombinovat. Nejprve provést vyvrtání a vyhrubování dlouhým nástrojem bez otáčení stolu, a pro vystružování použít krátké nástroje a obrábět za použití otočného stolu. Touto metodou je možné se vyhnout chybám v souososti a vytvořit kvalitní povrch při dokončování krátkým nástrojem.

4.4 Výrobní operace pro zhotovení děr pro uložení ložisek

Předpokladem pro návrh výrobních operací jsou předlité díry v odlitku s přídavkem na obrábění. Potom sled operací výroby děr je:

- vyvrtání díry,
- vyhrubování díry,
- vystružování díry, jemné vyvrtávání.

4.4.1 Vyvrtávání děr

Vyvrtávání děr (zvětšování průměru děr) slouží k odstranění přídavku materiálu po odlévání, kde po vrtání je nutné zanechat přídavek pro hrubovací operace (obr. 83). Vyvrtávání slouží také k vytvoření díry pro vedení dalších nástrojů.



Obr. 82 Vývrtávací nástroj s VBD [54]

4.4.2 Hrubování

K hrubování děr slouží výhrubník. Výhrubník je 3-4 břitý nástroj se zuby do šroubovice (většinou). Slouží ke zvětšení předvrtaných děr až o 2,5 mm při dosažení lepší kvality povrchu, než vzniká po vrtání (vyvrtávání). Přesnost vyhrubované díry se pak pohybuje mezi IT9 až IT11. V některých případech se jedná již o dokončovací operaci. [43]



Obr. 83 Výhrubník od firmy NAKOL [55]

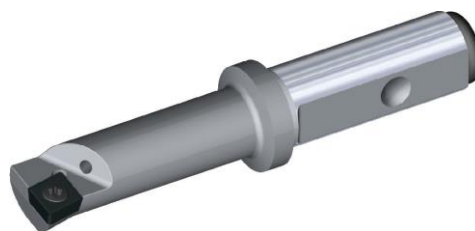
4.4.3 Vystružování

Přídavek na vystružení díry se většinou volí 0,1-1 mm, zaleží na průměru vyráběné díry. Výstružníkem (obr. 84) je možné vyrábět díry s přesností IT8 až IT6. Díra má hladký povrch a přesný geometrický tvar díky nerovnoměrné úhlové rozteči zubů výstružníku. Běžným vystružováním lze dosáhnout kvality povrchu Ra 0,8, obtížně pak Ra 0,4. [43, 55]



Obr. 84 Výstružník od firmy Simon [57]

Výstružníky jsou vhodné pro dokončení malých děr pro ložiska. Běžné díry pro ložiska však mají průměr větší, a proto se na dokončení těchto děr využívány jemně vyvrtávací tyče (obr. 85).



Obr. 85 Velmi přesná vyvrtávací tyč [58]

4.5 Měření součástí

Pro měření správnosti výroby ať už rozměrové přesnosti, tak i splnění geometrických tolerancí bylo zvoleno měření pomocí souřadnicového měřicího stroje Crystal-Apex C123010 od firmy Mitutoyo (obr. 86). Souřadnicové měřicí CNC stroje (SMS) jsou vhodné pro měření jak rozměrů, tak i skenování děr pro ložiska, určení jejich os a porovnání souososti, a tedy i správnosti výroby. [58]



Obr. 86 Souřadnicový měřicí stroj [59]

Pro ruční kontrolu rozměrů děr lez použit tříbodový dutinový mikrometr (obr. 87). Přesnost tříbodových mikrometrů se pohybuje kolem 0,001 mm. Jsou vhodným měřidlem na kontrolu rozměru, avšak neodhalí geometrický tvar díry. Při práci s dutinovým tříbodovým mikrometrem hraje také významnou roli zručnost pracovníka. Vícenásobné měření (po prvním naměření povolit mikrometr a v dutině ho mírně pootočit a změřit znovu) může pomoci odhalit nekruhovitost díry, avšak její přesné změření je nutné provést na SMS. Pro méně přesné měření lze použít posuvné měřidlo či výškoměr. [60]



Obr. 87 Tříbodový dutinový mikrometr [60]

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Před samotným návrhem výroby děr pro ložiska je nutné vzít v úvahu zaměření firmy. Zda se firma bude zabývat převážně výrobou těchto děr pro uložení ložisek, nebo její zaměření bude širší. S tím souvisí i náklady na nákup strojů, nástrojů a měřidel do vybavení firmy. Pro zaměření na výrobu děr pro uložení ložisek v převodových skříních postačí levnější stroje jako je například horizontální vyvrtávačka, která k této operaci je vhodná. V případě rozmanité výroby je naopak vhodné koupit dražší CNC stroj s pěti řízenými osami, na kterém lze vyrobit velké množství tvarový ploch nebo děr.

5.1 Porovnání nákladů na pořízení stroje

Nejen rozmanitost, ale i předpokládaná velikost vyráběných součástí je rozhodující ve výběru stroje do firmy. Zvolena horizontální vyvrtávačka představuje kvalitní a plně dostačující obráběcí stroj pro firmu, která se převážně zabývá výrobou děr pro uložení ložisek. Základní technické parametry lze vidět v příloze 1. Ceny horizontální vyvrtávače se pohybují v jednotkách milionů, avšak přesné ceny, nebývají většinou uváděny v katalogách firem, nejen z konkurenčních důvodů, ale velkého množství možného příslušenství pro daný stroj. Starší stroje lze z větších firem zakoupit za stovky tisíc korun. [50]

Pro firmy zabývající se rozmanitějším spektrem vyráběných tvarových součástí je vhodnější zakoupit dražší a univerzálnější stroj. Mezi takové stroje patří například obráběcí stroj C 650 od firmy HERMLE s pěti řízenými osami a řízení obstarává program HEIDENHAIN TNC 640. Tento stroj je vybaven kolíbkou opatřenou otočným stolem a tuhým vřetenem. Cena tohoto stroje závisí na množství příslušenství a pohybuje se mezi 10 až 20 miliony korun. Obrázek stroje a základní technické parametry lze nalézt v příloze 2. [61]

Při volbě správného stroje je nutné se zaměřit nejen na nákupní cenu stroje, ale i na provozní náklady, úsporu času, směnnost provozu, kvalifikaci pracovníků, objem výroby nebo předpoklad na velikost vyráběných dílců.

5.2 Nástroje a nákladovost

Nástrojů pro přípravu převodové skříně a samotnému zhotovení děr pro uložení ložisek v převodové skříně je velké množství. Proto je nutné zhodnotit, zda je pro danou firmu výhodnější využívat levnější monolitní nástroje ze slinutých karbidů, které bývají menších rozměrů, či nakoupit dražší frézovací nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Ceny monolitních nástrojů se pohybují ve stovkách korun, frézovací nástroje s VBD pak v jednotkách tisíc korun. Při využití frézovacích nástrojů s VBD lze obrábět většími řeznými rychlostmi a většími posuvy. To má za následek snižování výrobních časů jednotlivých součástí a zvýšení produktivity procesu, proto je nutné provést optimální řešení v porovnání výkon/cena.

6 DISKUZE

Správný návrh a postup výroby děr pro uložení ložisek je vždy nutné navrhovat na konkrétní situaci a parametry. Volbu ložisek a jejich uložení musí být určeno dle provozních podmínek, ať už se jedná o velikost zatížení, směr působících sil, množství otáček, pracovní prostředí, či velikost zástavbového prostoru. Dalším zásadním faktorem lze uvést sériovost výroby. Pro kusovou výrobu lze provádět kompletaci ložisek lícováním přesně na míru. Ve větších výrobních dávkách a větší sériovost na to není tolik času, a proto jsou voleny metoda výběrem či selektivní metodou. Volbu ložisek je také nutné zohlednit i na tvar soukolí v převodové skříní, možnosti mazání.

Výrobní postup a jeho ekonomičnost by po samotném návrhu bylo nutné doplnit o případné úpravy, což značí snižování strojních časů, vhodnější volbu nástrojů, volba a seřízení strojů a redukci vedlejších nákladů spojených s výrobou pro dosažení nejvýhodnějšího poměru ceny a výkonu.

ZÁVĚR

V diplomové práci je v jednotlivých kapitolách zachycen teoretický přehled jednotlivých oblastí, které je nutné řešit při výrobě přesných děr pro uložení ložisek v převodových skříních. První kapitola pojednává o lícování a vzájemném uložení strojních součástí, tolerování jejich rozměrů a požadavky na geometrickou přesnost výroby. Této oblasti je nutné se věnovat jako první při konstrukčním návrhu převodové skříně. Vhodná volba uložení má velmi významný vliv na správnou funkci mechanismu. Následující kapitola je věnována rozdělení základních typů konstrukcí ložisek, materiálů, z kterých jsou ložiska vyráběny či pravidla jejich montáže. Pro správnou volbu ložisek je nutné přemýšlet a případně simulovat chod stroje a zhodnotit velikosti a směry zatížení, zda jde o radiální, axiální či kombinované. Dle velikostí a směru zatížení pak lze zvolit správné ložisko. Třetí kapitola obsahuje stručný přehled soukolí užívaných v převodových skříních doplněné o pár praktických ukázek. Další kapitola obsahuje přehled používaných dokončovacích operací pro zlepšení kvality povrchu či dodržení přesného rozměrového či geometrického předpisu. Dále pak možnosti výroby děr pro uložení ložisek v převodových skříních, volbu stroje pro tuto výrobu a sled operací výroby. Závěrečné kapitoly jsou věnovány technicko - ekonomickému zhodnocení a diskuzi

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy Konstruování*. 5. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
2. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 4. Praha: ALBRA. ISBN 978-80-7361-051-7.
3. DRASTÍK, František. *Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem: Tolerování rozměrů a geometrických vlastností*. Ostrava: MONTANEX. ISBN 80-85780-18-6.
4. KLETEČKA, Jaroslav a Petr FORT. *Technické kreslení*. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0498-2.
5. NOVÝ, Lubomír. *Technické zobrazení: Tolerance a lícování součástí a sestav* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/novyl/tek7.htm>
6. VINŠ, Jindřich. *Kluzná ložiska*. 2. přep.vyd. Praha: SNTL, 1971, 373 s.
7. KLIMEŠ, Pavel. *ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ II: Tribologie, ložiska, převody*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2003. ISBN 80-214-2422-2.
8. BOHÁČEK, František. *Části a mechanismy strojů III. Převody*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1987, 267 s.
9. KOVAŘÍK, L., FERENCEY, V., R. SKALSKÝ a L. ČÁSTEK. *KONSTRUKCE VOZIDLOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ*. Praha: Naše vojsko, 1992. ISBN 28-073-92 05/169.
10. ARKOV: *Kluzná ložiska* [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.arkov.cz/p/kx-02x40x10-22-b20-pouzdro-kluzne-nutne-domazavat-bez-pridavku-na-opracovani---59483>
11. *TECHMAGAZÍN: Plastická maziva* [online]. 18.10.2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/261>
12. *PEMA: Oleje* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.oleje-pema.cz/cs/o-olejich.html#.XOUNdLt1Pct>
13. *ELUC: Montáž a demontáž kluzných ložisek* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1835>
14. *GLYCO: Návod na instalaci motorových ložisek a jejich opravy* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.elit.cz/cs/download/glyco-navod-na-montaz-motorovych-lozisek.pdf>
15. FRÖHLICH, Jan. *Technika uložení s valivými ložisky: [určeno také] pro studenty stř. odb. a vys. škol. 2., upravené vyd.* Praha: SNTL, 1980. Řada strojírenské literatury
16. SVOBODA, Milan. [online]. Praha, 1.11.2010 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://www.vrl.cz/files/download/Katalog%20VRL-2010_CZ-C-komplet.pdf
17. PATOČKA, Václav a Jaroslav KOCH. *Valivá ložiska ZKL: určeno studentům všech stupňů technických škol strojírenského směru. 2., upr. vyd.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1968. Řada strojírenské literatury.

-
18. *VRL: Kuličková ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.shop.vrl.cz/kategorie/kulickova-loziska-jednorada-rozebirateln/e-15-tng-lozisko-kulickove-jednorade-rozebiratelne-15x-35x8-1/>
 19. *MTM BEARINGS: Kuličková ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.lozyskamtm.pl/cs/produkty/jednorada-s-kosouhlym-stykem>
 20. *ELOTECHNIK* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/lozisko-3210-2rs-cn.html>
 21. *ZKL: Valivá ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.zkl-loziska.cz/Vyrobky-info/ZKL/all/Axialni-lozisko-52206-ZKL/>
 22. *SKF: Válečková ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/single-row-cylindrical-roller-bearings/index.html>
 23. *GB BEARING: Jehlová ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://cz.gb-bearings.de/one-way-needle-bearings->
 24. *INDUSTRIAL CZ: Jehlová ložiska axiální* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.industrial.cz/axk-7095-a-0-10--axialni-jehlova-klec/?gclid=EAlaIQobChMI4au38u6T4glVVuh3Ch33wg-YEAQYAiABEgInLvD_BwE
 25. *LOŽISKA VOKOUN: Soudečková ložiska dvouřadá* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.loziska-vokoun.cz/loziska/soudeckova-loziska-dvourada/>
 26. *MATEZA: Kuželíková ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/lozisko-skf-30224-j2-df>
 27. *Coroll: Kuželíková ložiska* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.coroll.cz/axialni-kuzelikova-loziska.html#&gid=1&pid=1>
 28. KRÍŽ, Rudolf. *Stavba a provoz strojů I: [učební text pro střední odborná učiliště]*. V Scientii 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. ISBN 80-718-3039-9.
 29. FIALOVÁ, Dana a Vladislav GRADEK. *Technologie - zámečnické práce a údržba: učebnice pro odborná učiliště*. 2. vyd. Praha: Parta, 2013-. ISBN 978-80-7320-195-1.
 30. KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. Brno: PC-DIR, 1993. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0554-6. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
 31. SYCHROVSKÝ, Martin a Milan DOLEŽAL. *WIKOW MGI* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://www.czech-raildays.cz/2008/seminare/kv_04.pdf
 32. *MM SPEKTRUM: Ložiska pro obnovitelné zdroje energie* [online]. 13.6.2012 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/loziska-pro-obnovitelne-zdroje-energie.html>
 33. ŠAMÁNEK, Otakar. *Magnetická ložiska* [online]., 10 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=531
 34. *ELEKTRO: Magnetická ložiska SKF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/magneticka-loziska-skf-od-inovace-k-osvedcenym-resenim--13657>
-

-
35. SKF: *Magnetická ložiska SKF S2M* [online]. 25.3.2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/news-and-media/news-search/2014-03-25-skf-s2m-magnetic-bearings-boost-turboexpander-performance-for-turbogaz.html>
36. PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 5., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-183-2.
37. Ameco s.r.o.: *Kuželové soukolí* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://eshop.ameco.cz/produkty/Kuzelove-sukolesia-z-mosadze-prevod-11---41>
38. KPC: *Převodové skříně zdvihu jeřábu* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.kpc.cz/cs/produkty/komponenty-zdvihu-jerabu/prevodove-skrine.aspx>
39. NORD [online]. 1.9.2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.nord.com/cms/media/documents/nordjournal/Nord_Zpravodaj_201805.pdf
40. CHAO CHIA GEAR INDUSTRY: *Gearbox For Automatic Door* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.chaochia.com.tw/gearbox/GB002.html>
41. KWAPIL: *Speciální převodovky* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.kwapil.cz/produkty/maxon/gear/index.php?w2dsmartphone=force>
42. Swedish Truck Parts: *Volvo Parts* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.swedishtruckpartsshop.co.uk/re-conditioned--used-gearboxes-available-1489-c.asp>
43. LIPA, Zdenko a Alexander JANÁČ. *Dokončovacie spôsoby obrábania: časti strojů: pro 2. roč. SPŠ*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2000. Edícia skript. ISBN 80-227-1324-4.
44. ELUC [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1390>
45. Prestige technology: *Lapovací stroj JOKE EL* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://prestige-technology.cz/lapovaci-stroje-a-prislusenstvi/14175-lapovaci-stroj-el-300-21059090.html>
46. TYROLIT: *Superfinišování* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tyrolit.cz/oblasti/obrabeni-kovu-precizni-brouseni/druhy-pouziti/honovani-dodatecne-opracovani.html>
47. SHOPMIX: *Mechanický nástroj na honování válců do vrtačky* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.shopmix.cz/Mechanicky-nastroj-na-honovani-valcu-do-vrtacky-32-90mm-GEKO-d53598.htm>
48. ADVA s.r.o.: *Leštící a čistící kotouče* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.advasro.cz/3m-scotch-brite-sc-dh-lestici-kotouc-bez-stredoveho-otvoru-na-suchy-zip>
49. Tradeindia: *Roller Burnishing Tools* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tradeindia.com/fp205712/ID-Roller-Burnishing-Tools.html>
50. FERMAT: *WFT 13 CNC* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/wft13-cz>
-

-
51. *MOODLE-TREBESIN: Lité převodové skříně* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/11640/mod_resource/content/1/převodová%20skřín.pdf
52. *DIMER: HTK-GUFERA* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.dimer.cz/tesneni/htk-gufera_8850_cz.html
53. *Zadania-seminarky: Technický výkres prevodovky* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.zadania-seminarky.sk/technicky-vykres/technicky-vykres-prevodovky/8843>
54. *SANDVIK Coromant: Vyvrtávací nástroj* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/search15products.aspx>
55. *NAKOL s.r.o.: Výstružníky a výhrubníky do kovu* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.nakol.cz/vyhrubnik-221411-hss-s-kuzelovou-stopkou>
56. *E-konstrukter: Technické kreslení* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/drsnost-povrchu>
57. *Simon: Výstružník ruční* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.naradi-simon.cz/produkty/velkoobchod/vystruznik-rucni-1200mm-h8-hss-valcova-stopka/2147.html>
58. *WIDIA: Přesné hlavy pro jemné vrtání* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.widia.com/cs/products/24019771/35525479/39391369/100007459.html>
59. *Mitutoyo: CNC souřadnicový měřicí stroj Crystal-Apex C123010* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S1200%20Series/CNC%20souřadnicový%20měřicí%20stroj%20Crystal-Apex%20C123010/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/191-396-10/index.xhtml?jsessionId=08E77238FA543E5D9B8C19D99A6A2AD](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S1200%20Series/CNC%20souřadnicový%20měřicí%20stroj%20Crystal-Apex%20C123010/$catalogue/mitutoyoData/PR/191-396-10/index.xhtml?jsessionId=08E77238FA543E5D9B8C19D99A6A2AD)
60. *Měřidla-Červenka* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://meridla-cervenka.com>
61. *HEMLE: Obráběcí centrum C 650* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.hermle.de/cs/obráběcí centra/modely/obráběcí centrum c 650>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC	-	Computer Numerical Control – počítačem řízený obráběcí stroj
EI	μm	dolní mezní úchylka pro díry
ei	μm	dolní mezní úchylka pro hřídele
ES	μm	horní mezní úchylka pro díry
es	μm	horní mezní úchylka pro hřídele
ISO	-	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci
NC	-	Numerical Control – Číslicově řízené obráběcí stroje
R_e	MPa	mez kluzu
VBR	-	Výměnná Břitová Destička
$\varnothing D$	mm	průměr oběžné dráhy vnějšího kroužku valivého ložiska
$\varnothing d$	mm	průměr oběžné dráhy vnitřního kroužku valivého ložiska
$\varnothing d_0$	mm	průměr valivého elementu
P_k	MPa	měrný tlak při válečkování
R_v	mm	radiální vůle

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Poloha tolerančních polí pro díry a hřídele [2]	15
Obr. 2 Uložení s vůlí [5]	16
Obr. 3 Uložení s přesahem [5].....	17
Obr. 4 Uložení s přechodné [5].....	17
Obr. 5 Značení přímosti na výkrese	18
Obr. 6 Vyobrazení tolerančního pole přímosti [3]	18
Obr. 7 Značení rovinnosti na výkrese	18
Obr. 8 Vyobrazení tolerančního pole rovinnosti [3]	18
Obr. 9 Značení kruhovitosti na výkrese	19
Obr. 10 Vyobrazení tolerančního pole kruhovitosti [3].....	19
Obr. 11 Značení válcovitosti na výkrese	19
Obr. 12 Vyobrazení tolerančního pole válcovitosti [3]	19
Obr. 13 Označení základny na výkrese	20
Obr. 14 Značení rovnoběžnosti os na výkrese	20
Obr. 15 Vyobrazení tolerančního pole rovnoběžnosti os [3].....	20
Obr. 16 Značení rovnoběžnosti na výkrese	20
Obr. 17 Vyobrazení tolerančního pole rovnoběžnosti [3]	20
Obr. 18 Značení kolmosti na výkrese bez značky průměru	21
Obr. 19 Vyobrazení tolerančního pole kolmosti bez značky průměru [3]	21
Obr. 20 Značení kolmosti na výkrese se značkou průměru.....	21
Obr. 21 Vyobrazení tolerančního pole kolmosti se značkou průměru [3].....	21
Obr. 22 Značení sklonu na výkrese bez značky průměru	21
Obr. 23 Vyobrazení tolerančního pole sklonu bez značky průměru [3]	21
Obr. 24 Značení sklonu na výkrese se značkou průměru.....	21
Obr. 25 Vyobrazení tolerančního pole sklonu se značkou průměru [3]	21
Obr. 26 Příklad použití polohy osy na výkrese	22
Obr. 27 Vyobrazení tolerančního pole polohy osy [3]	22
Obr. 28 Značení souososti na výkrese se značkou průměru	22
Obr. 29 Vyobrazení tolerančního pole sklonu se značkou průměru [3]	22
Obr. 30 Značení souměrnosti na výkrese	23
Obr. 31 Vyobrazení tolerančního pole souměrnosti [3]	23
Obr. 32 Příklad značení obvodového kruhového házení na výkrese	23
Obr. 33 Vyobrazení tolerančního pole obvodového kruhového házení [3]	23
Obr. 34 Příklad značení čelního kruhového házení na výkrese	24
Obr. 35 Vyobrazení tolerančního pole čelního kruhového házení [3]	24
Obr. 36 Příklad značení celkového obvodového házení na výkrese.....	24
Obr. 37 Vyobrazení tolerančního pole celkového obvodového házení [3]	24
Obr. 38 Příklad značení celkového čelního házení na výkrese	24
Obr. 39 Vyobrazení tolerančního pole celkového čelního házení [3]	24
Obr. 40 Samomazné kluzné ložisko [10]	26
Obr. 41 Část děleného ložiska se zámkem [14]	29
Obr. 42 Jednořadá ložisko nerozebíratelné podle [18].....	31
Obr. 43 Jednořadá kuličkové ložisko rozebíratelné dle [18]	31
Obr. 44 Jednořadá radiální kuličková ložiska s kosoúhlým stykem podle [19].....	31
Obr. 45 Dvouřadá radiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem podle [20]	31
Obr. 46 Dvouřadá kuličkové ložisko naklápěcí podle [18].....	32
Obr. 47 Jednosměrné axiální ložisko podle [21].....	32
Obr. 48 Obousměrné axiální ložisko podle [21]	32
Obr. 49 Válečkové jednořadá ložisko [22]	33

Obr. 50 Dvouřadé válečkové radiální ložisko [22]	33
Obr. 51 Jehlové radiální ložisko [23]	34
Obr. 52 Axiální jehlové ložisko [24]	34
Obr. 53 Soudečkovité dvouřadé ložisko [25]	34
Obr. 54 Axiální soudečkové ložisko [10]	35
Obr. 55 Jednořadé kuželíkové ložisko [25]	35
Obr. 56 Dvouřadé kuželíkové ložisko [26]	35
Obr. 57 Axiální kuželíkové ložisko [27]	36
Obr. 58 Různé způsoby použití přípravků při montáži valivých ložisek dle [29]	38
Obr. 59 Montáž vnitřního kroužku s válečky rozebíratelného valivého ložiska [29]	38
Obr. 60 Rozměrový řetězec valivého ložiska [30]	39
Obr. 61 Planetová převodovka větrné elektrárny [32]	41
Obr. 62 Radiální magnetické ložisko [35]	41
Obr. 63 Čelní soukolí s ozubenými koly s přímými zuby [36]	43
Obr. 64 Kuželové soukolí s přímými zuby [37]	43
Obr. 65 Šroubové soukolí [36]	43
Obr. 66 Šnekové soukolí [36]	44
Obr. 67 Planetový převod dle [36]	44
Obr. 68 Převodová skříň jeřábu C1200 [38]	45
Obr. 69 Převodová skříň pro pohon mlýnu na zpracování potravin [39]	45
Obr. 70 Převodová skříň automatických dveří [40]	45
Obr. 71 Velmi malé převodové skříně [41]	46
Obr. 72 Převodová skříň do tahače od firmy Volvo [42]	46
Obr. 73 Lapovací stroj [45]	50
Obr. 74 Superfinišovací kotouče [46]	50
Obr. 75 Honovací nástroj [47]	52
Obr. 76 Příklad lešticího kotouče [48]	53
Obr. 77 Válečkovací nástroj [48]	53
Obr. 78 Horizontální vyvrtávačka [50]	54
Obr. 79 Příklad odlitku převodové skříně [51]	55
Obr. 80 Příklad těsnicího kroužku [52]	55
Obr. 81 Převodová skříň [53]	55
Obr. 82 Vyvrtávací nástroj s VBD [54]	57
Obr. 83 Výhrubník od firmy NAKOL [55]	57
Obr. 84 Výstružník od firmy Simon [57]	57
Obr. 85 Velmi přesná vyvrtávací tyč [58]	57
Obr. 86 Souřadnicový měřicí stroj [59]	58
Obr. 87 Tříbodový dutinový mikrometr [60]	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní rozdělení kluzných ložisek [8]	25
Tab. 2 Dělení kuličkových ložisek [15]	30
Tab. 3 Jmenovité hodnoty rozměru funkčních ploch ložiska	39
Tab. 4 Variační obory skupin vnějšího kroužku	40
Tab. 5 Variační obory skupin valivého elementu	40
Tab. 6 Variační obory skupin vnitřního kroužku	40
Tab. 7 Dělení metod broušení [43]	48
Tab. 8 Rozdělení způsobu honování [43]	51

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Horizontální vyvrtávačka WFT 13 CNC a její technické parametry.

Příloha 2: Obráběcí centrum C 650 od firmy HERMLE a jeho technické parametry.

Příloha 1

Horizontální vyvrtávačka WFT 13 CNC a její technické parametry. [50]



Průměr pracovního vřetena	(mm)	130
Upínací kužel	(ISO)	50
Příčné přestavení stolu X	(mm)	2000 / 3000/ 4000/ 5000
Svislé přestavení vřeteníku Y	(mm)	2000 / 2500 / 3000 / 3500
Podélné přestavení stolu Z	(mm)	1500 / 2000
Výsuv pracovního vřetena W	(mm)	730
Výsuv smykadla V	(mm)	600
Rozsah otáček pracovního vřetena	(min ⁻¹)	10 ÷ 3000
Rozměry upínací plochy	(mm)	T10 - 1200 x 1400 / T15 - 1600 x 1800 / 1800 x 2600 / T20 - 2000 x 2400
Max. hmotnost obrobku	(kg)	10000 / 15000 / 20000 / 25000
Jmenovitý výkon hlavního motoru	(kW)	37 / 56

Příloha 2

Obráběcí centrum C 650 od firmy HERMLE a jeho technické parametry. [61]



Rozměry

Pojížděcí dráha: 1050 x 900 x 600 mm

Těleso: Ø 900 / V 600

Kolizní okruh: Ø 1100 mm

Pohon apod

Otáčky: 15000/18000 ot/min

Rychlé chody lineárně X-Y-Z: 35 m/min

Pevný upínací stůl: 1250 x 982 mm

Max. zatížení stolu: 3000 kg